

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MĚŘENÍ PARAMETRŮ OVZDUŠÍ SE ZÁZNAMEM

MEASURING AND DATA LOGGING OF AIR PARAMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lada Kaziměřčiková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Sekora

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Lada Kaziměřčiková

ID: 203669

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Měření parametrů ovzduší se záznamem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Prostudujte měřené parametry ovzduší a jejich hygienické limity. 2) Provedte rešerši v oblasti senzorů pro měření parametrů ovzduší. Zaměřte se především na detektory převádějící měřené hodnoty na elektrické veličiny. 3) Navrhněte zařízení pro detekci vybraných parametrů (minimálně teploty, vlhkosti a koncentrace CO₂), které bude umožňovat dálkový přístup k naměřeným hodnotám. Přístup k hodnotám bude po síti Ethernet, kdy zařízení bude představovat jednoduchý webový server. 4) Sestavte navržené zařízení. Sestavte program řídicí jednotky. 5) Ověřte správnost funkce zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GEDDES, Mark. Arduino project handbook. San Francisco: No Starch Press, 2016. ISBN 9781593278182.
- [2] KREPS, Jay. I [heart symbol] Logs: Event Data, Stream Processing, and Data Integration. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2014. ISBN 1491909382.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 5.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout zařízení pro měření vlhkosti, teploty a koncentrace CO₂ se záznamem. Pro návrh zařízení byl zvolen jako řídicí jednotka počítač Raspberry Pi se třemi senzory, a to DHT11 pro měření teploty a vlhkosti, NDIR MH-Z16 pro měření koncentrace CO₂ a NOVA PM SDS011 pro detekci částic PM₁₀ a PM_{2,5}. Naměřená data ze senzorů jsou ukládána do MySQL databáze a následně zobrazována uživateli na webové stránce prostřednictvím PHP skriptů a aktivních Javascriptových prvků. Práce se dále zaměřuje na rozbor kvality ovzduší a látky, které jsou v něm obsažené, přičemž je následně provedena rešerše senzorů pro měření koncentrace těchto látek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Raspberry pi, parametry ovzduší, senzory, znečišťující látky ovzduší, měření parametrů ovzduší, ukládání dat, webhosting, PHP, MySQL

ABSTRACT

The goal of the Bachelor thesis is to design a device for measuring humidity, temperature and CO₂ concentration with implemented data logging. The Raspberry Pi computer was chosen as the control unit for the design of the device with three sensors, DHT11 for measuring temperature and humidity, NDIR MH-Z16 for measuring the CO₂ concentration and NOVA PM SDS011 for detection PM₁₀ and PM_{2,5} particles. The measured data from the sensors are stored in the MySQL database and are displayed on the web using PHP scripts and active Javascript elements. The Bachelor thesis also focuses on the analysis of air quality and substances contained in the air with presented research for sensors used for measuring the concentration of these substances.

KEYWORDS

Raspberry pi, air parameters, sensors, air pollutants, measurement of air parameters, data logging, webhosting, PHP, MySQL

KAZIMĚŘČÍKOVÁ, Lada. *Měření parametrů ovzduší se záznamem*. Brno, 2020, 50 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Měření parametrů ovzduší se záznamem“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autorky

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	10
1 Měření parametrů ovzduší	11
1.1 Složení atmosféry	11
1.2 Nejvýznamnější znečistující látky ovzduší	12
1.2.1 Oxidy síry	12
1.2.2 Oxidy dusíku	13
1.2.3 Ozon	13
1.2.4 Oxid uhelnatý	13
1.2.5 Oxid uhličitý	13
1.2.6 Polétavý prach	14
1.3 Zákon o ochraně ovzduší	15
2 Senzory k měření parametrů ovzduší	17
2.1 Elektrochemický senzor	17
2.2 Polovodičový senzor	18
2.3 Fotoionizační detektor	19
2.4 Optický čítač částic	20
2.5 Optický senzor	21
3 Návrh a realizace měřicího zařízení	23
3.1 Popis řídicí jednotky	23
3.2 Nástroje pro tvorbu webu	27
3.2.1 HTML	27
3.2.2 PHP	28
3.2.3 MySQL	28
3.2.4 Javascript	28
3.3 Hardware	29
3.3.1 Popis řešení návrhu zařízení	29
3.3.2 Popis řešení zapojení senzorů	30
3.4 Software	31
3.4.1 Zobrazování dat	32
3.4.2 Python skript	33
3.4.3 Python skript jako daemon	34
3.4.4 Webová aplikace	35
4 Ověření funkčnosti zařízení	38

Závěr	43
Literatura	44
Seznam příloh	48
A Fotodokumentace hotového prototypu	49
B Zdrojové kódy	50

Seznam obrázků

2.1	Schéma elektrochemického senzoru (převzato z [8])	18
2.2	Schéma polovodičového senzoru (převzato z [34])	19
2.3	Schéma fotoionizačního detektoru (převzato z [5])	20
2.4	Schématické znázornění principu fotoionizačního detektoru (převzato z [28])	20
2.5	Schématické znázornění principu optického čítače částic (převzato z [30])	21
2.6	Schématické znázornění principu optického senzoru (převzato z [17]) .	22
3.1	Raspberry Pi 2 model B (převzato z [24])	23
3.2	Konektory Raspberry Pi 2 model B (převzato z [24])	24
3.3	GPIO - víceúčelové vstupní/výstupní rozhraní Raspberry Pi (převzato z [25])	25
3.4	Schéma komunikačního rozhraní I ² C (převzato z [3])	25
3.5	Schéma komunikačního rozhraní SPI (převzato z [27])	26
3.6	Schéma komunikačního rozhraní UART (převzato z [16])	26
3.7	Blokové schéma principu webových stránek tvořenými HTML a PHP (převzato z [36])	27
3.8	Blokové schéma návrhu zařízení	29
3.9	Blokové schéma zapojení senzoru DHT11	30
3.10	Blokové schéma zapojení senzoru MH-Z16 NDIR	31
3.11	Blokové schéma zapojení senzoru NOVA PM SDS011	31
3.12	Blokové schéma softwaru s využitím webového serveru Apache	32
3.13	Blokové schéma softwaru s využitím webhostingu	33
3.14	Vývojový diagram skriptu v Pythonu	34
3.15	Blokové schéma principu přeposílání dat ze senzorů na webovou stránku	35
4.1	Zobrazení naměřených hodnot teploty ze senzoru DHT11	38
4.2	Zobrazení naměřených hodnot vlhkosti ze senzoru DHT11	38
4.3	Zobrazení naměřené koncentrace CO ₂ ze senzoru MH-Z16	39
4.4	Zobrazení naměřených prachových částic o velikosti PM _{2,5} ze senzoru SDS011	39
4.5	Zobrazení naměřených prachových částic o velikosti PM ₁₀ ze senzoru SDS011	40
4.6	Zobrazení naměřených dat na webu pomocí Google Charts	41
4.7	Zobrazení naměřených dat na webu pomocí funkce fetch_assoc	41
4.8	Zobrazení webové stránky na mobilním zařízení	42
A.1	Sestavený prototyp	49

Seznam tabulek

1.1	Tabulka zastoupení plynů v zemské atmosféře[12]	11
1.2	Tabulka imisních limitů pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení[37]	15
1.3	Tabulka imisních limitů pro celkový obsah znečišťujících látek v částicích PM ₁₀ vyhlášené pro ochranu zdraví lidí[37]	15
1.4	Tabulka imisních limitů pro troposférický ozon[37]	16
1.5	Tabulka limitních koncentrací prachu ve vnitřním prostředí staveb[35]	16
3.1	Struktura tabulky <i>Data</i> v databázi MySQL	36

Úvod

Monitorování kvality ovzduší má velký význam. Aby bylo možné předcházet zvyšování úrovně znečištění je potřeba znát samotné polutantny, jejich zdroje a především pak jejich vliv na lidský organismus či ekosystémy. S kvalitou ovzduší je mimo jiné úzce spojena změna klimatu, která má také nezanedbatelný vliv na zdraví.

Cílem této bakalářské práce je sestavit měřicí zařízení parametrů ovzduší, které bude umožňovat dálkový přístup k naměřeným hodnotám. Aby mohlo dojít k samotné realizaci bylo potřeba vytvořit teoretický základ v oblasti měření parametrů ovzduší. V první kapitole tak bylo prostudováno, jaké konkrétní polutanty se v ovzduší nachází a následně měří. V práci je i stručně poukázáno na to, jak jsou jednotlivé látky škodlivé a proč je v našem zájmu je sledovat a eliminovat.

Další podstatnou částí práce je rešerše v oblasti senzorů pro měření parametrů ovzduší. Druhá kapitola tvoří výčet nejčastěji využívaných senzorů na měření koncentrace plynů či částic a stručný popis jejich principů.

Nejpodstatnější částí práce je návrh a samotná realizace měřicího zařízení. Jako řídicí jednotka byl zvolen počítač Raspberry Pi. Dalším krokem bude vhodně zvolit senzory k měření teploty, vlhkosti, koncentrace CO_2 a detekci částic o velikosti PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$.

Poslední kapitola je věnována testování zařízení. Testováno bude správné posílání dat a jejich zobrazení uživateli. Následně budou hodnoty ze senzorů kontrolovány, zda odpovídají reálným hodnotám.

1 Měření parametrů ovzduší

Do ovzduší je dlouhodobě vypouštěno velké množství emisí, které znečišťují ovzduší. Takové znečištění má negativní dopad na lidské zdraví a životní prostředí. Proto se v posledních letech lidstvo snaží znečištění eliminovat a koncentraci znečišťujících látek v ovzduší důkladně sledovat.

1.1 Složení atmosféry

Zemská atmosféra je složena z velkého množství různých plynů, vodní páry a znečišťujících příměsí pevných či kapalných částic. Procentuální zastoupení většiny plynů se do výšky 100 km nemění, s výjimkou oxidu uhličitého, jehož zastoupení se mění v závislosti na mnoha faktorech. Oxid uhličitý není jako takový označován za znečišťující látku, nicméně je mu třeba věnovat zvýšenou pozornost v souvislosti se zesíleným skleníkovým efektem. Mezi další výjimku můžeme zařadit ozon, který mění své procentuální zastoupení na základě vzdálenosti od povrchu země. V následující tabulce 1.1 lze vyčíst procentuální zastoupení všech plynů v zemské atmosféře bez vodní páry a znečišťujících příměsí.[12]

Tab. 1.1: Tabulka zastoupení plynů v zemské atmosféře[12]

Plyn	Chemická značka	% objemu
dusík	N ₂	78,084
kyslík	O ₂	20,948
argon	Ar	0,934
oxid uhličitý	CO ₂	0,031
neon	Ne	0,001818
hélium	He	0,000524
metan	CH ₄	0,0002
krypton	Kr	0,000114
vodík	H ₂	0,00005
oxid dusný	N ₂ O	0,00005
xenon	Xe	0,000009
oxid siřičitý	SO ₂	0–0,00001
ozón	O ₃	0–0,000007
oxid dusičitý	NO ₂	0–0,000002
čpavek	NH ₃	stopy
oxid uhelnatý	CO	stopy
jód	I ₂	stopy

Atmosféra se dělí na několik částí, a to na troposféru, stratosféru, mezosféru, termosféru a exosféru. Většina povětrnostních procesů a dějů, které označujeme jako počasí probíhá v troposféře, která má výškové rozpětí do 11 km nad úrovní moře, 9 km nad póly a 18 km nad rovníky.[4] Do této části jsou emitovány látky antropogenních i přírodních aktivit. Mezi antropogenní aktivity můžeme zařadit především energetiku, průmysl, dopravu a zemědělství. Přírodními zdroji emisí jsou vulkanické činnosti, lesní požáry, větrná eroze, písečné bouře, emise organických látek z lesních porostů a biogenní emise z oceánů, řek, vodních ploch a mokřadů. Všechny tyto emise se podílejí na složitých fyzikálně-chemických přeměnách.[12]

1.2 Nejvýznamnější znečišťující látky ovzduší

Znečištění ovzduší je definováno jako přítomnost jedné nebo více látek ve vyšší koncentraci po delší dobu oproti běžnému výskytu. Lze tedy říct, že ovzduší mohou znečišťovat i látky, které se v něm vyskytují přirozeně. Mezi další polutanty patří látky, které jsou antropogenního původu, ale mohou být i výsledkem přírodních procesů. Antropogenní aktivity mohou vést ke zvýšení koncentrace mnoha látek znečišťujících ovzduší na úroveň, která má nepříznivý dopad na zdraví a životní prostředí.[21]

1.2.1 Oxidy síry

Mezi hlavní polutanty z řad oxidů síry patří oxid siřičitý (SO_2) a oxid sírový (SO_3). Do ovzduší se oxid siřičitý dostává jako produkt spalování paliv s obsahem síry nebo během průmyslové výroby kyseliny sírové. Významným přírodním zdrojem je vulkanická činnost a lesní požáry. Oxid siřičitý se mění vlivem fotochemické nebo katalytické reakce na oxid sírový, který je následně hydratován vzdušnou vlhkostí na aerosol kyseliny sírové. Ta může reagovat s alkalickými částicemi prашného aerosolu za vzniku síranů. Postupně se sírany usazují na zemském povrchu. Pokud je nedostatek alkalických částic, tak dochází k okyselení srážkových vod, což vede ke vzniku tzv. kyselých dešťů, které mohou způsobit závažné škody jak na živých, tak i neživých složkách ekosystému.[12] Při poměrně vysoké koncentraci oxidu siřičitého v ovzduší může dojít k vyvolání vážného poškození plic a dýchacích cest. Obecně lze tvrdit, že jsou na znečištění oxidem siřičitým citlivější astmatici a starší lidé.[22]

1.2.2 Oxidy dusíku

K hlavním polutantům oxidů dusíku řadíme oxid dusný, oxid dusnatý, oxid dusičný (které jsou značeny NO_x). Jejich zvýšený výskyt v ovzduší je způsoben emisemi z dopravy a spalovacích procesů. Tyto oxidy se postupně přeměňují na kyselinu dusičnou, která následně reaguje s prachovými částicemi, například amoniakem, za vzniku tuhých částic. Vlivem srážek či sedimentací se tyto částice dostávají na povrch země, kde v určité míře mohou působit příznivě na růst rostlin, ale při zvýšené koncentraci zapříčiní vlivem eutrofizace vod úhyn ryb.[12] Oxid dusičitý velmi snadno proniká do plic, kde je jeho většina pohlcena v krvi. Představuje riziko pro děti a astmatiky a jeho vliv je pro ně nebezpečnější, než oxid siřičitý. Oxid dusičitý s kyslíkem a těkavými látkami přispívá vlivem UV záření k tvorbě přízemního ozonu a fotochemického smogu. Tento typ smogu zapříčiňuje slzení, dýchací potíže, malátnost nebo snížení obranyschopnosti organismu.[11]

1.2.3 Ozon

Ve stratosféře se běžně vyskytuje ozon, který vytváří ochrannou vrstvu a není nijak zdraví škodlivý. Naopak přízemní ozon, který vzniká ať už přírodní nebo antropogenní cestou, zdraví škodlivý již je. Jeho výskyt je způsoben složitými chemickými reakcemi za přítomnosti slunečního záření mezi oxidy dusíku a těkavými organickými látkami.[12] Výskyt přízemního ozonu způsobuje dráždění dýchacích cest, podráždění očí a bolesti hlavy. Jeho nepříznivý vliv se podepisuje i na rostlinách.[1]

1.2.4 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý (CO) vzniká nedokonalým spalováním uhlíkatých materiálů. V menší míře je pak tvořen přírodními zdroji a zásadní je pro jeho vznik antropogenní činnost. Vyšší koncentrace CO může být riziková pro osoby s chronickými záněty dýchacích cest a s poruchami oběhové soustavy. Jeho vysoká koncentrace může způsobit až otravu s fatálními následky. V atmosféře se podílí na vzniku přízemního ozonu a jeho konečný produkt je oxid uhličitý.[10]

1.2.5 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý (CO_2) se v ovzduší vyskytuje přirozeně, avšak během posledních dvou století došlo k dramatickému nárůstu jeho koncentrace. Mezi přírodní zdroje CO_2 patří organické rozklady, uvolňování z oceánů, vulkanické činnosti a dýchání. K růstu jeho koncentrace přispěla antropogenní činnost člověka, a to především spalování fosilních paliv, výroba cementu a odlesňování. Mimo jiné má jeho kumulace negativní dopad na lidské zdraví především v uzavřených prostorech.[7]

Díky vývoji v oblasti bydlení a používání nových materiálů dochází ke snižování intenzity větrání. Ve venkovním prostředí se v dnešní době běžně objevuje koncentrace CO_2 kolem 400 ppm¹, avšak v interiérech dochází k mnohonásobnému kumulování koncentrace a limitní hodnota byla zavedena na 1 000 ppm. Pokud koncentrace CO_2 překročí v místnosti daný limit, tak se u lidí začínají projevovat příznaky spojené s únavou a nesoustředěností. Pokud dojde k překročení koncentrace CO_2 nad 5 000 ppm, tak může dojít k vážnému ohrožení zdraví.[29]

1.2.6 Poléťavý prach

Mezi poléťavý prach lze zařadit všechny tuhé částice, které jsou menší než 10 μm . Tyto částice se značí PM_{10} , přičemž dolní index určuje velikost částic v mikrometrech (například částice menší než 2,5 μm se značí $\text{PM}_{2,5}$). Tyto částice se liší chemickým složením, velikostí i původem. Zdrojem těchto částic je převážně antropogenní činnost člověka. Svým výskytem značně ovlivňují zdraví člověka. Částice o velikosti PM_{10} pronikají do dolních cest dýchacích a drobnější až do plicních sklípků. Mezi jejich další negativní vlastnosti patří jejich schopnost na sebe navazovat další škodliviny nevyjímaje karcinogenní látky.[19]

¹ppm — Parts per million, poměr částic vůči celku o základu 1 000 000.

1.3 Zákon o ochraně ovzduší

Česká republika má od roku 2012 platný zákon č. 201/2012 Sb o ochraně ovzduší. Tento zákon si klade za cíl zlepšit kvalitu ovzduší.

V tabulkách 1.2, 1.3 a 1.4 je definována přípustná úroveň znečištění. Popisuje imisní limity a přípustné četnosti jejich překročení za rok. Na základě těchto tabulek je následně vyhodnocená úroveň znečištění.[37]

V tabulce 1.2 je výčet měřených znečišťujících látek, po jaké době měření se hodnota zprůměruje, imisní limit a maximální počet překročení daného limitu za rok.

Tab. 1.2: Tabulka imisních limitů pro ochranu zdraví lidí a maximální počet jejich překročení[37]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
Oxid siřičitý	1 hodina	350 $\mu\text{g.m}^{-3}$	24
Oxid siřičitý	24 hodin	125 $\mu\text{g.m}^{-3}$	3
Oxid dusičitý	1 hodina	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$	18
Oxid dusičitý	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$	0
Oxid uhelnatý	maximální denní osmihodinový průměr	10 mg.m^{-3}	0
Benzen	1 kalendářní rok	5 $\mu\text{g.m}^{-3}$	0
Částice PM_{10}	24 hodin	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$	35
Částice PM_{10}	1 kalendářní rok	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$	0
Částice $\text{PM}_{2,5}$	1 kalendářní rok	25 $\mu\text{g.m}^{-3}$	0
Olovo	1 kalendářní rok	0,5 $\mu\text{g.m}^{-3}$	0

V tabulce 1.3 je výčet znečišťujících látek, které tvoří částice PM_{10} , jejich imisní limit a dobu průměrování měření.

Tab. 1.3: Tabulka imisních limitů pro celkový obsah znečišťujících látek v částicích PM_{10} vyhlášené pro ochranu zdraví lidí[37]

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Arsen	1 kalendářní rok	6 ng.m^{-3}
Kadmium	1 kalendářní rok	5 ng.m^{-3}
Nikl	1 kalendářní rok	20 ng.m^{-3}
Benzo(a)pyren	1 kalendářní rok	1 ng.m^{-3}

V tabulce 1.4 je popsán imisní limit pro troposférický ozon. Plnění imisního limitu u ochrany zdraví lidí se vyhodnocuje na základě průměru za 3 kalendářní roky. Naopak u ochrany vegetace se plnění imisního limitu vyhodnocuje na základě průměru za 5 let. AOT40 je označení pro výpočet doby průměrování.[37]

Tab. 1.4: Tabulka imisních limitů pro troposférický ozon[37]

Účel vyhlášení	Doba průměrování	Imisní limit
Ochrana zdraví lidí	maximální denní osmihodinový průměr	120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Ochrana vegetace	AOT40	18 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$

V České republice všechna data sleduje a následně zaznamenává Český hydro-meteorologický ústav (ČHMÚ).

Poléťavý prach upravuje ještě vyhláška č. 6/2003 Sb (tabulka 1.5). Tato vyhláška stanovuje hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.[35]

Tab. 1.5: Tabulka limitních koncentrací prachu ve vnitřním prostředí staveb[35]

Ukazatelé	jednotka	limit
frakce prachu PM_{10}	$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	150
frakce prachu $\text{PM}_{2,5}$	$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	80

2 Senzory k měření parametrů ovzduší

V dnešní době existuje velké množství senzorů, které jsou schopné měřit koncentraci a výskyt plynů v ovzduší. Lze je rozdělit podle principu, na kterém fungují [13], a to na:

- Senzory na principu katalytického spalování
- Senzory na principu infračerveného záření
- Elektrochemické
- Tepelně vodivé
- Paramagnetické
- Senzory využívající pevný elektrolyt
- Polovodičové

Dále lze senzory plynů dělit dle metody vyhodnocování, a to na metody založené na změnách elektrických vlastností a metody založené na změnách jiných vlastností (například optických, akustických, kalorimetrických nebo pomocí plynové chromatografie).[17]

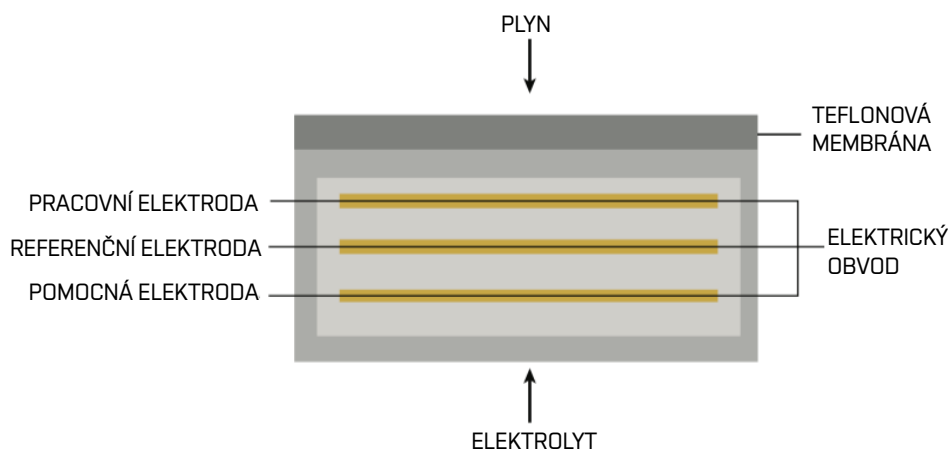
U senzorů porovnáváme parametry, jakými jsou senzitivita, selektivita, čas odpovědi, doba zotavení, stabilita, nebo výrobní náklady. Ideální senzor by tak měl mít nejvyšší senzitivitu, selektivitu, stabilitu a naopak nejnižší čas odpovědi, dobu zotavení a cenu.[17]

2.1 Elektrochemický senzor

Elektrochemické senzory jsou založeny na chemické reakci mezi plyny ve vzduchu a elektrodami ponořenými do kapaliny uvnitř senzoru. Mezi měřené plyny patří NO_2 , SO_2 , O_3 , NO a CO . Mají poměrně dobrou senzitivitu mg/m^3 až $\mu\text{g/m}^3$ a (poměrně) rychlou odpověď mezi 30 – 200 sekundami. Mezi jejich nevýhody patří vysoká teplotní závislost, kolísání vlhkosti a podobná reaktivita s blízkými podobnými typy molekul.[9]

Schéma elektrochemického senzoru je uvedeno na obrázku 2.1. Mezi hlavní komponenty elektrochemického senzoru patří pracovní elektroda, pomocná elektroda a u některých typů senzorů referenční elektroda. Všechny tyto elektrody jsou v kontaktu s kapalným elektrolytem uvnitř senzoru. Pracovní elektroda se nachází na vnitřní straně teflonové membrány, která je pórovitá. Teflonová membrána je propustná pro plyn, nikoliv však pro elektrolyt. Difúzí pochází plyn do senzoru a skrz membránu do pracovní elektrody, kde dojde ke vzniku elektrochemické reakce. Dle druhu plynu dochází k redukci nebo oxidaci. Oxidační reakce vede k toku elektronů z pracovní elektrody na pomocnou elektrodu přes vnější obvod. Redukční reakce pak způsobí tok elektronů z pomocné elektrody na pracovní. Tok elektronů zapříčiní

vznik elektrického proudu, který je úměrný koncentraci plynu. Elektronika uvnitř přístroje detekuje a zesílí proud. Výstupní hodnota je upravena dle kalibrace a zobrazena pak na displeji jako koncentrace plynu v ppm pro toxický plyn a procentech u kyslíkových senzorů.[8]

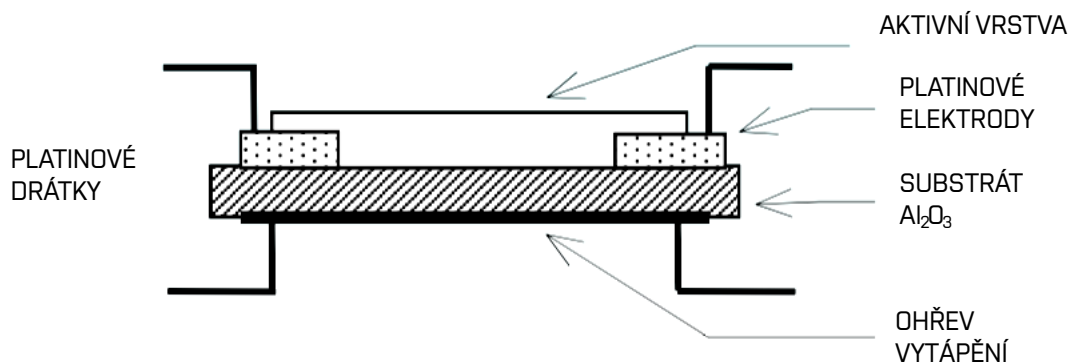


Obr. 2.1: Schéma elektrochemického senzoru (převzato z [8])

2.2 Polovodičový senzor

Polovodičový senzor se skládá z nosné části, která je chemicky stabilní, elektricky nevodivá a teplotně odolná. Na její povrch je nanесena tenká citlivá vrstva. Tato vrstva je založena na bázi polovodivých oxidů kovů. Nejčastěji se využívají z oxidů kovů například SnO_2 , ZnO a BaTiO_3 . Senzor pracuje na principu měření změny odporu nebo impedance, která vznikne vlivem změny koncentrace analyzovaného plynu, který reaguje s povrchem senzoru.[2, 34]

Mezi kladné vlastnosti patří jeho citlivost mg/m^3 až $\mu\text{g/m}^3$ a schopnost fungovat ve vysokých teplotách. Nevýhodou je pak jeho dlouhá odezva na měřenou koncentraci, a to 5 – 50 minut. Na výsledek měření má velký vliv teplota okolí a vlhkost vzduchu. Změna vodivosti senzoru je závislá na změně koncentrace analyzovaného plynu. Měří se pak změny odporu nebo impedance.[9]



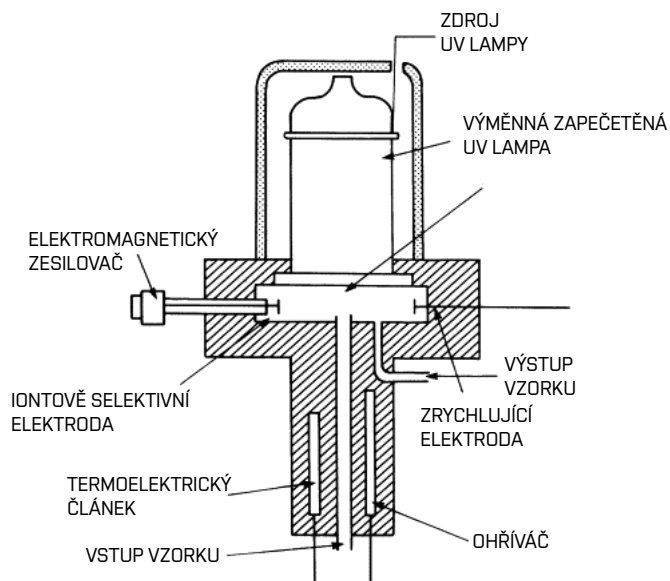
Obr. 2.2: Schéma polovodičového senzoru (převzato z [34])

2.3 Fotoionizační detektor

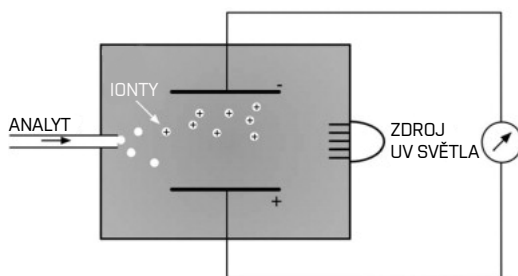
Fotoionizační detektor ionizuje nestálé organické částice. Jeho schéma lze vidět na obrázku 2.3. Vlivem této ionizace dochází ke vzniku elektrického proudu, který je posléze měřen a vyhodnocován. Mezi jeho nevýhody patří vyšší cena a citlivost na teplotu okolí a vlhkost vzduchu. Naopak jeho odezva je velmi rychlá a pohybuje se v řádu několika sekund. Při měření je nutno správně nastavit vyhodnocovací proces pro daný typ plynu. Reaguje na všechny částice, které mohou být ionizovány UV zářením. Některé plyny, například CO_2 , absorbují UV záření a mohou tak snížit citlivost detektoru.[9]

Fotoionizační detektor reaguje na širokou škálu organických a v některých případech anorganických molekul. Fotoionizační detektor využívá výměnnou uzavřenou lampu, která produkuje monochromatické záření v UV oblasti. Při průchodu paprskem se molekuly plynu s ionizačním potenciálem, menším než energie záření, ionizují. Molekuly s ionizačním potenciálem lehce nad fotonovou energií dopadajícího paprsku mohou být také ionizovány, a to díky tomu, že je část v excitovaných vibračních stavech. Vzniklé ionty jsou elektrickým polem vedeny do sběrné elektrody a iontový proud je měřen elektromagnetickým zesilovačem.[5]

V praxi to vypadá tak, že vzorek vstupuje do analytické komory, která je složena ze dvou desek, mezi nimiž je aplikován rozdíl potenciálů. Po vzniku ionizovaných molekul, vlivem ultrafialového světla, dojde ke vzniku proudu, který se následně zaznamená. Velikost proudu je přímo úměrná počtu ionizovaných molekul. Tento princip je znázorněn na obrázku 2.4.[28]



Obr. 2.3: Schéma fotoionizačního detektoru (převzato z [5])



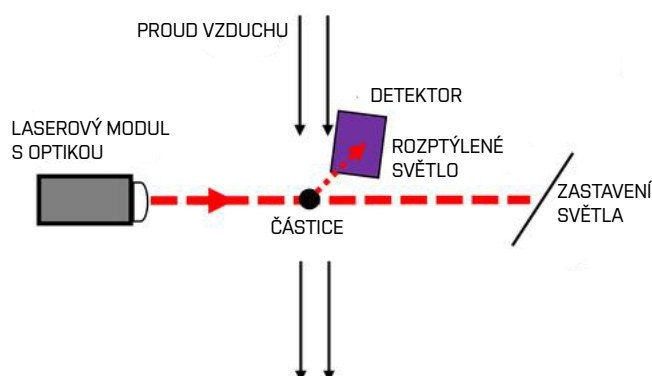
Obr. 2.4: Schématické znázornění principu fotoionizačního detektoru (převzato z [28])

2.4 Optický čítač částic

Optický čítač částic je určen k měření rozptýleného světla jednotlivých částic v jejich vzdušném stavu. Mezi jeho značné výhody patří velmi rychlá odezva do 1 s, výborná senzitivita ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), schopnost rozlišovat velikosti částic PM_{10} až do $\text{PM}_{0,5}$ u některých typů. Výsledný měřený signál závisí na několika parametrech, a to na tvaru částic, barvě, hustotě, vlhkosti, a indexu lomu.[9]

Princip funkce optického čítače je znázorněn na obrázku 2.5. Senzor využívá jako zdroj světla laser, popřípadě technologii LED. U běžných čítačů je laserový paprsek zaostřen na velmi malou oblast. V této oblasti částice rozptýlí velké množství světla.

Díky malé oblasti paprsku dojde k vyloučení příliš velkých částic. Rozptýlené světlo dopadá na detektor. Výsledný signál přichází od každé částice individuálně a má velmi malý poměr signál/šum.[30]

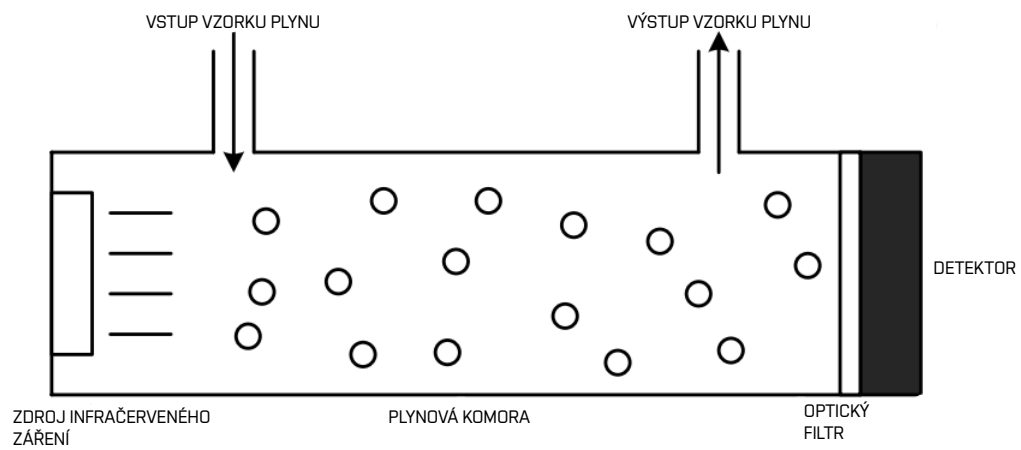


Obr. 2.5: Schématické znázornění principu optického čítače částic (převzato z [30])

2.5 Optický senzor

Optické senzory detekují plyny (jako například CO_2) měřením absorpce infračerveného světla. Cena se velmi liší podle typu. Mezi jeho výhody patří skvělá citlivost na CO_2 , a to díky charakteristickému infračervenému spektru.[9]

Senzor se skládá ze tří hlavních komponentů, které lze pozorovat na obrázku 2.6. První částí je zdroj infračerveného záření, který emituje širokopásmové záření včetně vlnové délky absorbované cílovým plynem, který toto záření absorbuje v plynové komoře. Vše dopadá na optický filtr, který stíní veškeré záření, aby mohlo dojít k detekci konkrétního plynu IR detektorem.[17]



Obr. 2.6: Schématické znázornění principu optického senzoru (převzato z [17])

3 Návrh a realizace měřicího zařízení

Navržené zařízení obsahuje řídicí jednotku, která bude po vzoru IoT¹ komunikovat s uživatelem po síti Ethernet. Data získána ze senzorů budou pomocí řídicí jednotky posílána na dynamickou webovou stránku, kterou bude moct uživatel číst.

IoT je systém vzájemně propojených výpočetních zařízení, mechanických a digitálních strojů či objektů, které jsou opatřeny jedinečným identifikátorem a schopností přenášet data přes síť.[26]

3.1 Popis řídicí jednotky

Raspberry Pi je po instalaci operačního systému (Windows, Linux) plně funkční počítač. Řadí se mezi nejlevnější počítače s touto úrovní funkčnosti, který je v současné době veřejnosti dostupný. Mezi jeho největší výhody patří nízká pořizovací cena díky použitému čipu typu SoC (System on a Chip). Jedná se tedy o systém, u kterého se paměť společně s mikroprocesorem a grafickým procesorem umísťuje do takzvaného „křemíkového sendviče“, a tím se minimalizuje potřeba místa na desce plošných spojů i množství spojovacích drah. Raspberry Pi využívá mikroprocesory Broadcom.[20]



Obr. 3.1: Raspberry Pi 2 model B (převzato z [24])

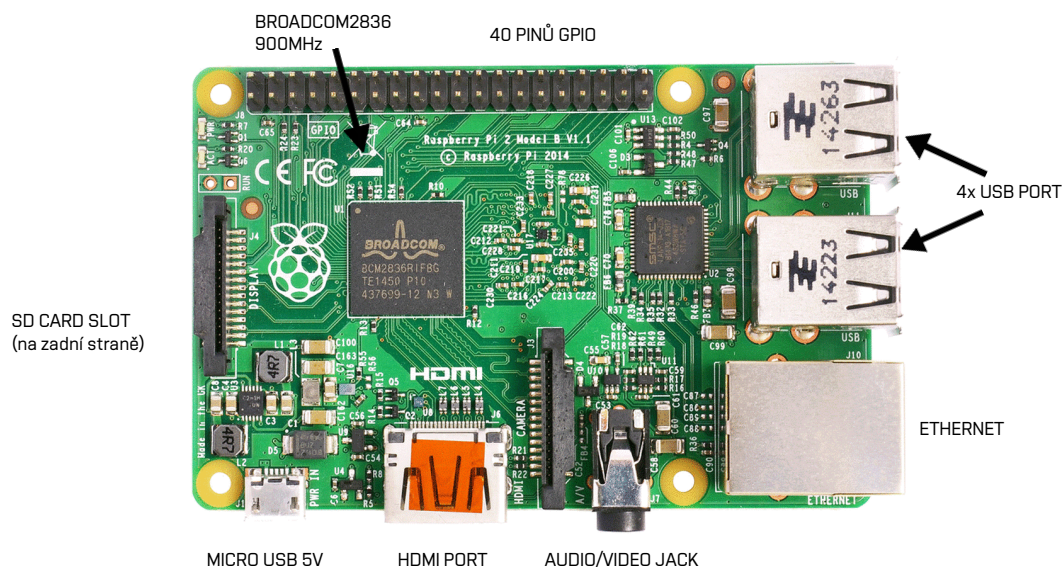
Mikroprocesor pracuje s taktem 900 MHz, tato relativně nízká frekvence hodin mikroprocesoru napomáhá ke snížení energetické náročnosti celého mikropočítače. Mezi další výhody této frekvence patří to, že procesor je uzpůsoben k práci při

¹IoT — Internet of Things, internet věcí

nízkém napětí, čímž se snižuje celkové množství uvolňovaného tepla a zvyšuje se životnost procesoru.[20]

Raspberry Pi má dynamickou paměť s přímým přístupem společně s flash pamětí SD (secure digital). Například model B má nainstalovanou paměť 512 MB. SD paměť se využívá k uložení operačního systému, všech programů a ostatních dat, které vyžadují trvalé uložení. Pokud dojde k vypojení napájení, tak se s těmito daty nic nestane. Rychlost Raspberry Pi je také ovlivněna zvolením rychlostní třídy SD karty.[20, 31]

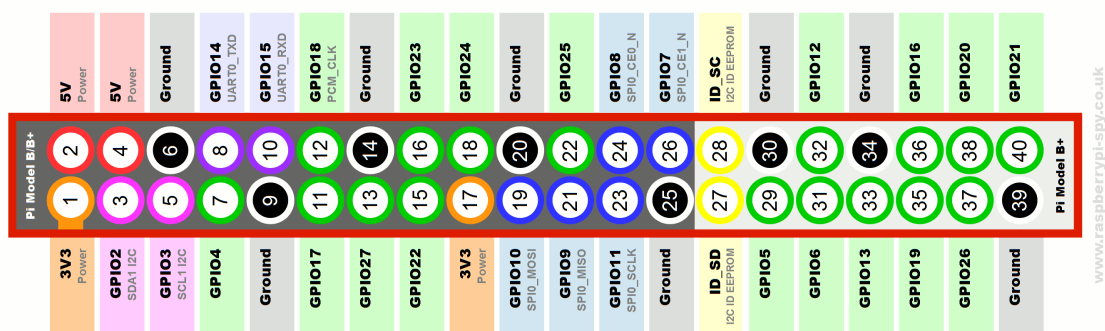
Raspberry Pi má devět konektorů, a to napájecí, HDMI, analogové kompozitní video, audio, Ethernet, USB, konektory pro budoucí rozšíření a GPIO – víceúčelové vstupní/výstupní rozhraní. Rozvržení těchto konektorů je vyobrazeno na obrázku 3.2.[20]



Obr. 3.2: Konektory Raspberry Pi 2 model B (převzato z [24])

Napájecí konektor využívá microUSB s přívodem stejnosměrného napětí +5 V. Konektor HDMI slouží k přenosu audio a video signálů prostřednictvím plně funkčního rozhraní HDMI. Audiokonektor je analogovým audiovýstupem typu Jack o průměru 3,5 mm. Dalším konektorem je Ethernet RJ45. U konektoru USB je potřeba zmínit, že Raspberry Pi je schopné dodat pouze proud 1200 mA pro externí zařízení. Pokud by přídatná zařízení potřebovala více proudu, tak je třeba použít aktivní rozbočovač USB.[20]

Víceúčelové vstupní/výstupní rozhraní pro všeobecné použití GPIO (na obrázku 3.3) má 40 vývodů umístěných ve dvou řadách. Vstupní napětí nesmí překročit 3,3 V jinak dojde ke zničení obvodu GPIO.[20]



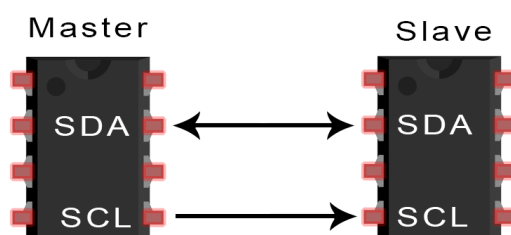
Obr. 3.3: GPIO - víceúčelové vstupní/výstupní rozhraní Raspberry Pi (převzato z [25])

Napětové úrovně číslicových signálů - Raspberry Pi pracuje s kladným napájecím napětím 3,3 V s logickými úrovněmi 1 (HIGH $\approx 2,7 - 3,3$ V), 0 (LOW $\approx 0,0 - 0,7$ V). Podle toho se rozděluje vstupní napětí GPIO na logickou 1 nebo 0.[20]

Komunikační protokoly Raspberry Pi

Raspberry Pi využívá 3 sériové protokoly, a to SPI, I₂C a UART. Sériové periferní rozhraní SPI se řadí mezi sériové datové spoje.

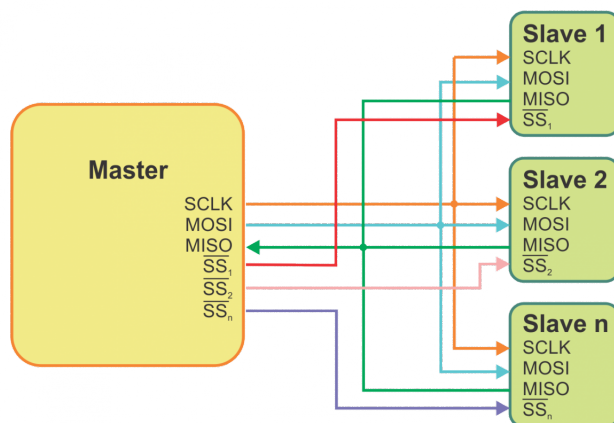
Rozhraní I₂C je synchronní sériové rozhraní mezi integrovanými obvody. Skládá se z jednoho hlavního obvodu (master) a jednoho podřízeného (slave). Tato konfigurace se nazývá multidrop nebo bus network (sběrníková síť). Tento obvod podporuje víc než jeden integrovaný master obvod a také několik obvodů slave. Používá dvě linky, a to SCL pro sériový hodinový signál a SDA pro sériová data. Schéma komunikačního rozhraní I₂C je vyobrazeno na obrázku 3.4.[20]



Obr. 3.4: Schéma komunikačního rozhraní I₂C (převzato z [3])

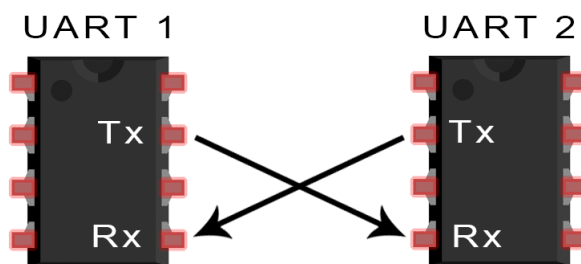
Rozhraní SPI je synchronní a vyžaduje hodinový signál. Data mohou být současně přijímána a vysílána zařízením typu host (hostitel, hlavní zařízení) i slave

(podřízené zařízení). Sběrnice je tvořena 4 vodiči a více linkami výběru čipu. Je tedy schopná komunikovat s více než jedním cílovým zařízením. Schéma komunikačního rozhraní SPI je vyobrazeno na obrázku 3.5.[20, 31]



Obr. 3.5: Schéma komunikačního rozhraní SPI (převzato z [27])

Rozhraní UART má dva datové signály (Rx a Tx), nepotřebuje žádný hodinový signál (je tedy asynchronní). Raspberry Pi vysílá data na výstupu (vodič Tx) a přijímá data na vstupu RXD0. Tento protokol je určen primárně pro přenos dat a ne pro řízení jako je tomu tak u I₂C a SPI. Schéma zapojení rozhraní UART se nachází na obrázku 3.6.[20, 31]



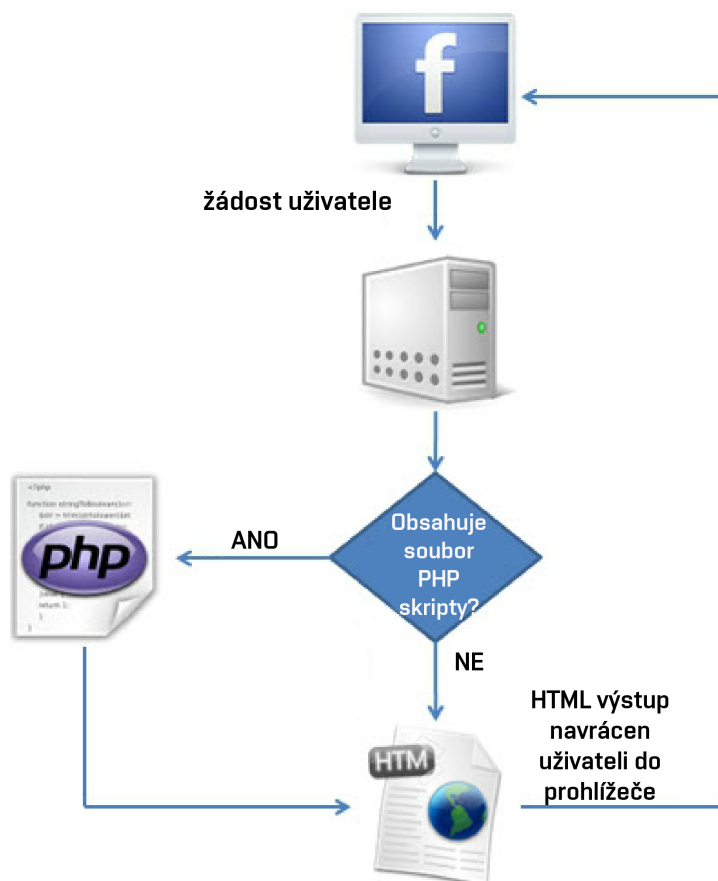
Obr. 3.6: Schéma komunikačního rozhraní UART (převzato z [16])

3.2 Nástroje pro tvorbu webu

Pro obyčejné statické webové stránky vystačí uživateli znalost HTML. Avšak cílem této práce je zobrazovat data a aktualizovat je pokud možno v reálném čase. Stránky tak budou dynamické s využitím PHP a pro ukládání dat je vhodný určitý druh databáze, v případě této práce MySQL. Aby bylo možné zobrazovat aktuální data z databáze je vhodné využít aktivní prvky (např. grafy, tabulky), které jsou poskytovány službami PHP a Javascript.

3.2.1 HTML

HTML (Hypertext Markup Language) je základním jazykem k vývoji webových stránek. HTML stránka tedy obsahuje hypertextové odkazy a využívá značky k definování rozvržení samotného webu a prvků na stránce. Dnešní weby, především dynamické, jsou pak doplňovány jinými skriptovacími jazyky, například PHP, které přidávají další možnosti k tvorbě webu.[15]



Obr. 3.7: Blokové schéma principu webových stránek tvořenými HTML a PHP (převzato z [36])

3.2.2 PHP

PHP neboli Hypertext Preprocessor je open source skriptovací jazyk na straně serveru, který se využívá k tvorbě jak statických, tak dynamických webů či webových aplikací. Skriptovací jazyky se vyznačují tím, že jsou interpretovány za běhu. Výhodou PHP kódu je jeho snadná aplikace do HTML kódu a snadná komunikace s databázemi, především vestavěná podpora pro práci s MySQL. Lze jej provozovat na většině webových serverů a operačních systémech. Nesmírnou předností je jeho pravidelné aktualizování, díky kterému si udržuje krok s nejnovějšími trendy v technologiích.[23, 36]

3.2.3 MySQL

MySQL je systém pro správu databází. Jedná se o tzv. relační databáze, které se vyznačují tím, že jsou to databáze založené na tabulkách. Každý sloupec/řádek má pevně stanovený datový typ, který je potřeba splnit. MySQL není čistě úložiště dat, ale zabývá se dalšími podstatnými komponenty, jako je zabezpečení, optimalizace výkonu a spojování několika dotazů do jedné transakce. Nesmírnou výhodou MySQL je to, že se operace v transakci vždy provedou jako jedna operace v celku, nikdy jen určitá část zvlášť. Stav databáze je vždy po dokončení jakékoliv transakce v původním stavu dle všech předem definovaných pravidel a omezení. Jednotlivé operace jsou izolované a navzájem se neovlivňují. V poslední řadě se zapsaná data okamžitě trvanlivě zapíší do úložiště. Nehrozí tak při jakýkoliv potížích ztráta dat. Nejsnadnějším prostředím pro práci s databázemi je phpMyAdmin, který je společně s MySQL dostupný na většině wehostingů.[6]

3.2.4 Javascript

Javascript se řadí mezi skriptovací jazyky, které se interpretují na straně klienta (internetové prohlížeče) i na straně serveru. Patří mezi vysokoúrovňové jazyky. Je dynamický a beztypový, a není tak potřeba definovat datový typ jednotlivých proměnných. Především je snadno interpretovaný a standardizovaný. Proto na všech platformách nabízí stejnou funkcionalitu. Javascript se prvně využíval pro oživení webových stránek. Využívá se také i pro vývoj aplikací pro mobilní telefony, tablety i počítače.[18]

JSON neboli JavaScript Object Notation je syntaxe pro ukládání a výměnu dat. Je založený na podmnožině programovacího jazyka Javascript. Je jednoduše čitelný i zapisovatelný. Je tvořen kolekcí párů proměnných název a hodnota.[33]

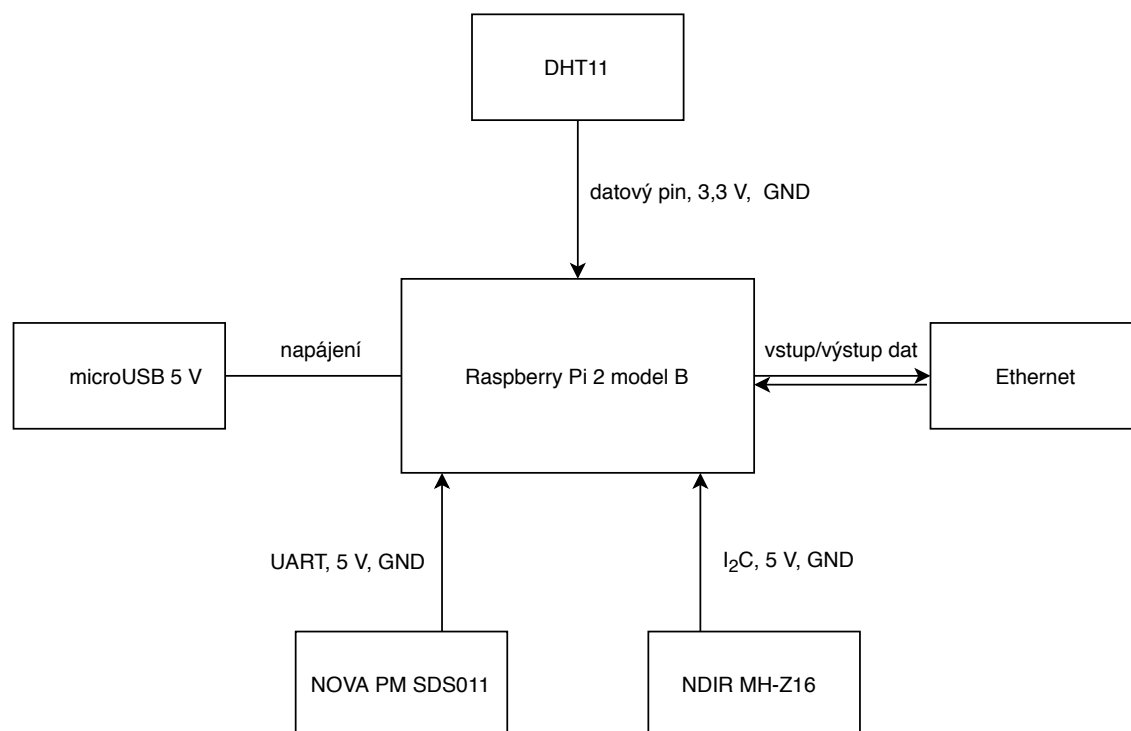
3.3 Hardware

Návrh zařízení pro měření parametrů ovzduší má jako řídicí jednotku Raspberry Pi 2 model B. V první řadě je potřeba zavést na Raspberry Pi prostřednictvím SD karty operační systém Raspbian, který je na bázi Linuxu. Při instalaci byla zvolena verze Raspbianu s předinstalovaným prostředím pro programování v Pythonu, který bude dále využíván při realizaci měřicího zařízení.

Jednotlivými částmi použitého hardware jsou hotové moduly, které se připojují pouze k napájení a k řídicí jednotce pomocí příslušných sběrnic. Z toho důvodu je obvodové řešení dále interpretováno formou blokových schémat namísto elektrických schémat zapojení.

3.3.1 Popis řešení návrhu zařízení

Raspberry Pi je napájeno pomocí konektoru microUSB se vstupem 5 V a k síti je připojeno prostřednictvím Ethernet. Na řídicí jednotku je pomocí nepájivého pole připojen senzor k měření vlhkosti a teploty DHT11. Dalšími senzory, které jsou k zařízení připojeny, je NDIR MH-Z16 k měření CO₂ a NOVA PM SDS011 k měření prachových částic. Schéma tohoto zapojení je vyobrazeno na obrázku 3.8.



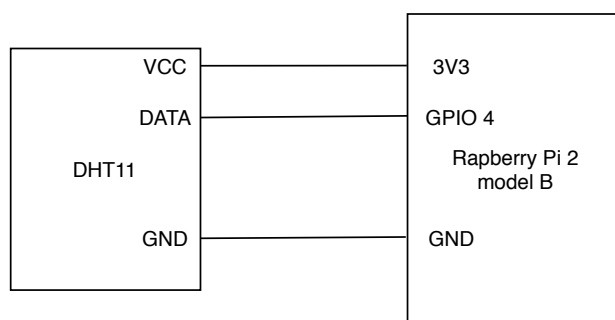
Obr. 3.8: Blokové schéma návrhu zařízení

V případě využití vyššího modelu Raspberry Pi 3 lze návrh inovovat pomocí napájení přes Ethernet (Power over Ethernet). Zařízení by nebylo nutné zapojovat pomocí konektoru microUSB do elektrické sítě, ale stačilo by pořídit PoE HAT, který je schopný z portu Ethernet získat napájecí napětí 5 V k napájení Raspberry Pi.

3.3.2 Popis řešení zapojení senzorů

Pro zapojení senzoru DHT11 k měření teploty a vlhkosti (na obrázku 3.9) vystačí tři vodiče a jeden pull-up rezistor o velikosti 10 k Ω . Tento rezistor se zapojí mezi napájecí pin 3,3 V a datový pin GPIO4. Třetí pin zůstane volný a čtvrtý se připojí na zem.

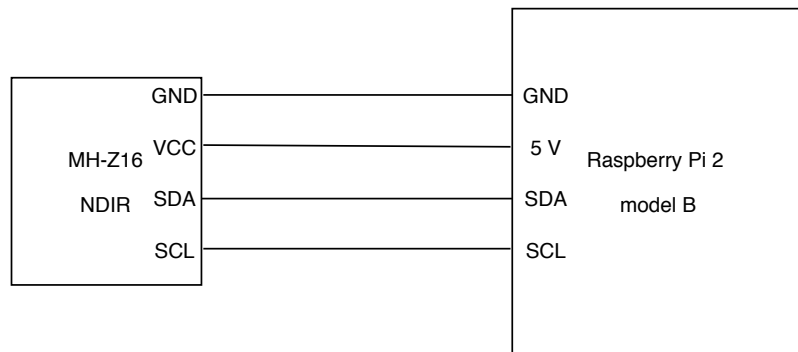
DHT11 se vyznačuje měřicím rozsahem 0 – 50 °C s přesností ± 2 °C. Rozsah měření vlhkosti je 20 – 90 % s přesností ± 5 %. Při měření vlhkosti senzor pracuje na principu polovodičového senzoru a během získávání dat o teplotě využívá jednoduchý termistor.



Obr. 3.9: Blokové schéma zapojení senzoru DHT11

Pro zapojení senzoru NDIR MH-Z16 firmy Sand Box Electronics (na obrázku 3.10) k měření CO₂ jsou potřeba 4 vodiče. Dle označení na senzoru se postupně zapojí na napájecí pin 5 V, zem a komunikační protokol I₂C na datové linky SDA a SCL.

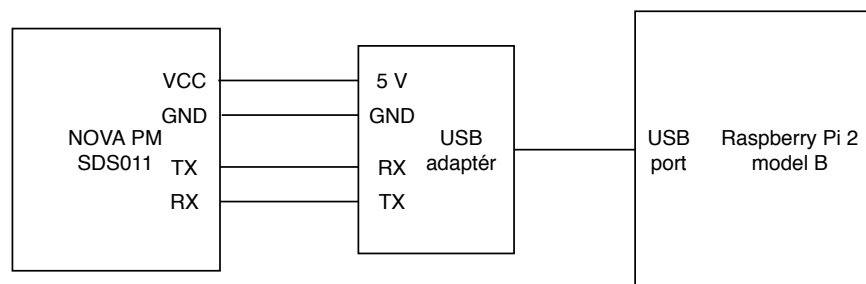
Senzor pracuje na principu optického senzoru a měří tak koncentraci CO₂ na základě přijaté intenzity infračerveného světla. Jeho měřicí rozsah sahá od 400 do 100 000 ppm. Dokáže tak zaznamenávat 0,04 – 10% koncentraci CO₂ v ovzduší. Senzor disponuje tlačítkem k automatické kalibraci.



Obr. 3.10: Blokové schéma zapojení senzoru MH-Z16 NDIR

Při zapojení senzoru NOVA PM SDS011 (na obrázku 3.11) byla využita dostupná USB redukce, na kterou vedou piny ze senzoru. Skrz redukci je senzor napájen 5 V, uzemněn a připojen na sériový protokol UART.

Senzor pracuje na principu čítače optických částic a k detekci částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ dochází tedy pomocí rozptylu laseru. SDS011 je schopný detekovat v ovzduší částice o velikosti $0,3 - 10 \mu m$.



Obr. 3.11: Blokové schéma zapojení senzoru NOVA PM SDS011

3.4 Software

Po správném hardwarovém zapojení senzorů je potřeba se soustředit na softwarovou stránku práce, aby došlo k zobrazení naměřených dat uživateli. Nejdříve je potřeba číst data ze senzorů, což lze několika způsoby a v několika programovacích jazycích. Senzory mají přidružené knihovny napsané v několika jazycích. V této práci budou využívány knihovny napsané v jazyce Python. Data se můžou posléze uživateli zobrazovat jak lokálně, tak externě. V následující kapitole budou popsány obě metody.

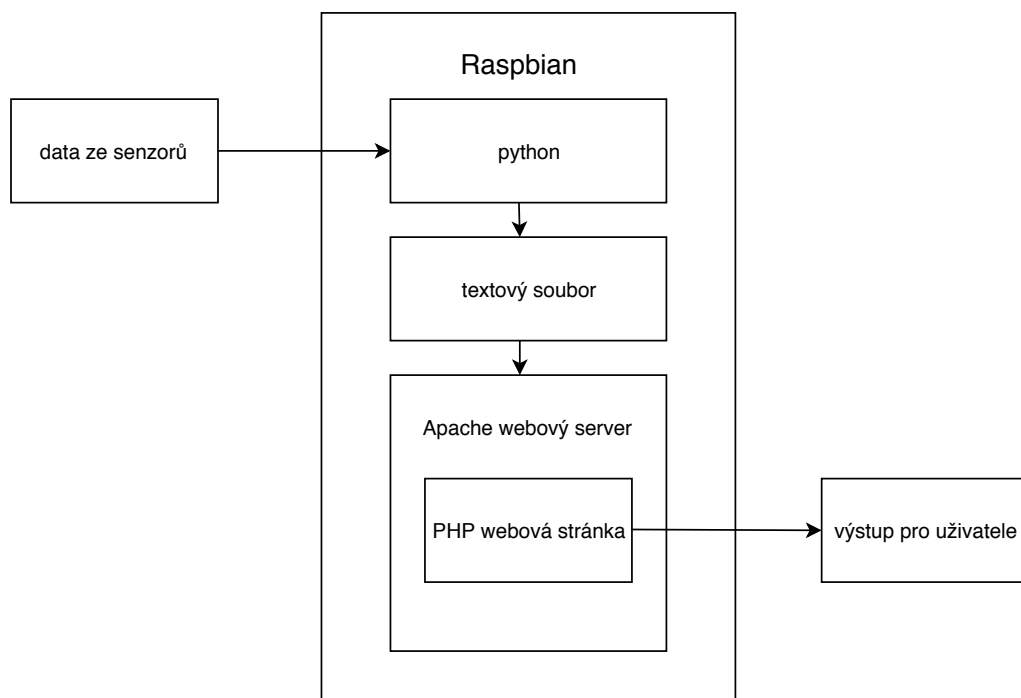
3.4.1 Zobrazování dat

Data ze senzorů lze zobrazovat několika možnostmi. Jednou z nich je vypsání hodnot na příkazovém řádku. Dále existují uživatelsky přívětivější možnosti a to vypsání dat do souboru či na webovou stránku. Pro řešení této práce bylo zvoleno zobrazování dat skrze webovou stránku. Nabízí se několik možností jak webovou stránku provozovat, a to:

- lokálně – na systému řídicí jednotky bude spuštěn webový server, který umožní připojení na webovou stránku pouze v lokální síti,
- veřejně – přístup na webovou stránku je dostupný odkudkoliv, avšak k tomuto je zapotřebí disponovat veřejnou IP adresou, a nebo externím webhostingem.

Lokální zobrazení dat

Pro prvotní ověření funkčnosti senzorů a Python skriptu, který data v určitých časových intervalech zapisoval do textového souboru, posloužil Apache webový server (na obrázku 3.12). Tento server běžel na řídicí jednotce a pomocí PHP webové stránky zobrazoval hodnoty z textového souboru. Webová stránka byla přístupná pouze lokálně přes IP adresu zařízení.

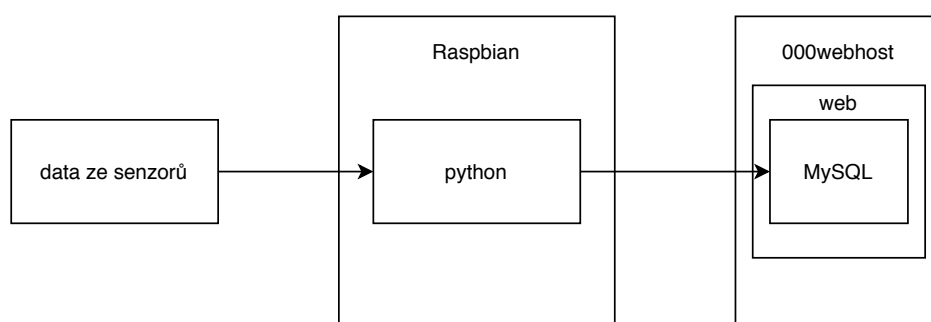


Obr. 3.12: Blokové schéma softwaru s využitím webového serveru Apache

Externí webhosting

Další možností je pronajmout si prostor pro webovou stránku na cizím serveru. Tato služba se nazývá webhosting a bývá zpoplatněna. Tyto servery nabízí skriptovací technologie jako například PHP. Z databází nabízejí především MySQL a MS SQL. Přenos dat na server probíhá pomocí protokolu FTP. K zobrazení webových stránek je potřeba si zaregistrovat doménu.

V této práci byla použita bezplatná služba webhostingu od poskytovatele Hostinger. Výhodou tohoto poskytovatele jsou bezplatné funkce jako je PHP, MySQL, cURL. Pro uživatele může být také rozhodující, že poskytovatel nevynucuje zobrazování reklam na samotném webu. Dalšími klady tohoto webhostingu je možnost využít bezplatnou subdoménu 000webhostapp.



Obr. 3.13: Blokové schéma softwaru s využitím webhostingu

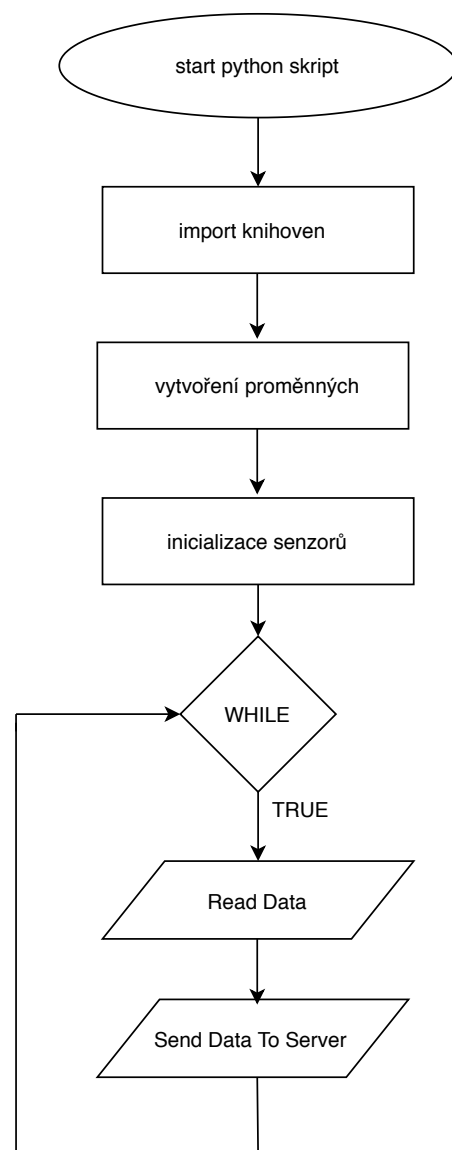
3.4.2 Python skript

Vývojový diagram Python skriptu, který běží spuštěný jako daemon na řídicí jednotce je vyobrazeno na obrázku 3.14. Načtení dat ze senzorů probíhá v Python skriptu. Jako první jsou importovány všechny knihovny, které jsou potřeba k práci se senzory. Mnohé knihovny, které senzory potřebují ke své činnosti, nejsou v základním balíčku Pythonu, a byly tak doinstalovány. Všechny senzory mají knihovny volně dostupné ke stažení. V dalším kroku byly vytvořeny globální proměnné, do kterých se později budou postupně zapisovat hodnoty ze senzorů. Posledním důležitým krokem, aby bylo možné využívat senzory, je samotná jejich inicializace.

V další fázi jsou pomocí *while* cyklu zavolány dvě funkce. První s názvem ReadData postupně načítá naměřené hodnoty ze senzorů společně s datem a časem záznamu je ukládá do proměnných. Druhá funkce SendDataToServer obstarává posílání dat do databáze pomocí příkazu *urllib.request.urlopen* z knihovny urllib do databáze MySQL. Tento příkaz otevírá URL webové stránky v přesně definovaném tvaru tak, aby mohlo dojít ke správnému čtení přes PHP skript a následnému zápisu hodnot do databáze. Cyklus se neustále opakuje s daným časovým intervalem

30 sekund, aby nedocházelo k přehlcení databáze a paměti.

Pokud nedojde k inicializaci senzoru, či je nesprávně zapojen a na výstup neposílá žádnou hodnotu, tak ve funkci ReadData dojde k zapsání konkrétní hodnoty, která byla jednotlivým sensorům přidělena, do proměnné *error*. Tato proměnná je s ostatními naměřenými hodnotami posílána do databáze. Uživatel tak snadno může vyčíst z tabulky na webové stránce jaký senzor je v ten okamžik nefunkční.



Obr. 3.14: Vývojový diagram skriptu v Pythonu

3.4.3 Python skript jako daemon

Aby bylo zařízení pro měření parametrů ovzduší co nejvíce autonomní a nevyžadovalo neustálý zásah uživatele, je vhodné vytvořit z již existujícího Python skriptu

tzv. daemon program. Daemon je druh programu, který nevyžaduje intervenci uživatele a bývá spuštěn během spuštění řídicí jednotky. Program běží na pozadí, a aby došlo k jeho vypnutí vyžaduje přímý zásah uživatele skrz příkazovou řádku v Raspbianu. Tento daemon program lze vytvořit několika způsoby. V této práci byl využit příkaz `crontab -e` :

```
crontab -e
```

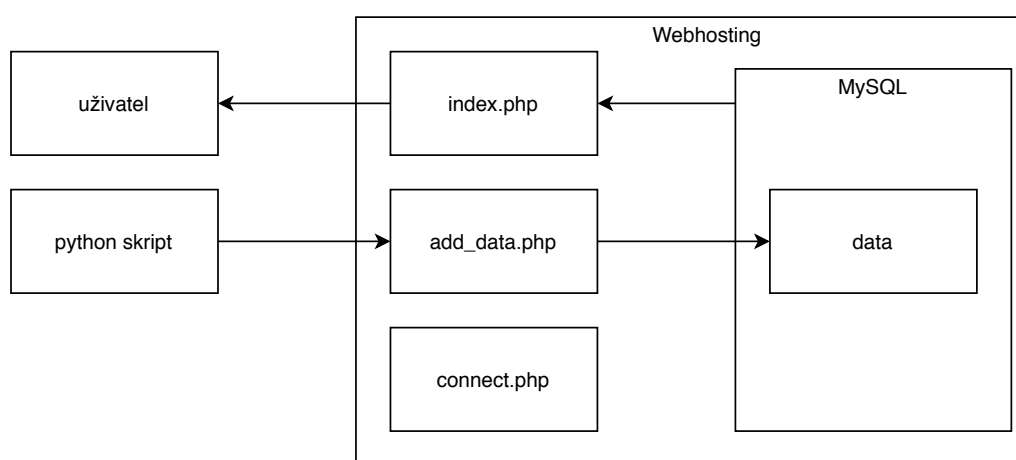
Pomocí tohoto příkazu dojde k otevření `crontab` a do něj se následně na poslední řádek zapíše následující příkaz s cestou k souboru a názvem samotného Python skriptu.

```
@reboot python3 /home/pi/Documents/bpkod.py &
```

Následující příkaz způsobí to, že jakmile se Raspberry Pi zapojí do elektrické sítě a dojde k jeho spuštění, tak se rozběhne i daný skript.

3.4.4 Webová aplikace

Pro zobrazování dat je uživatelsky přívětivé vytvořit webovou aplikaci. Taková aplikace byla vytvořena na webu `bpovzdusi.000webhostapp.com` a její schéma je na obrázku 3.15.



Obr. 3.15: Blokové schéma principu přeposílání dat ze senzorů na webovou stránku

Ve správci databází na webhostingu byla vytvořena nová MySQL databáze s názvem `id13096369_parametry_ovzdusi`. V této databázi byla vytvořena tabulka s názvem `data` pro příjem dat z Python skriptu (tabulka 3.1). Tabulka byla vytvořena a následně upravována pomocí správce databází `phpMyAdmin`. Struktura tabulky je tvořena položkami, které jsou načítány ze senzorů. Data jsou posílána v datovém typu `string` a pomocí PHP souboru překonvertována do tabulky jako `integer`

nebo float. Datový typ float slouží k zobrazování desetinných čísel. Výjimkou je datum a čas, které jsou posílány v datovém typu string a následně v PHP souboru převedeny na datový typ datetime.

Tab. 3.1: Struktura tabulky *Data* v databázi MySQL

#	Název	Datový typ
1	datum	datetime
2	temp	int(11)
3	hum	int(11)
4	co2	int(11)
5	pm25	float
6	pm10	float
7	error	int(11)

Dalším krokem bylo vytvoření tří PHP souborů ve správci souborů na webhostingu. Prvním souborem je `connct.php`, který slouží k připojení k MySQL databázi. Je potřeba znát název uživatele, heslo, název hosta a jméno databáze. Pomocí funkce `mysqli` dojde k novému připojení k serveru MySQL. Pokud je připojení k databázi úspěšné, tak se na webové stránce vypíše *"Připojení k databázi proběhlo úspěšně."*

PHP skript k připojení k MySQL databázi

```
<?php
$Nazev_uzivatel="id13096369_ovzdusibp";
$Heslo= "*****";
$Host_nazev= "localhost";
$DB_jmeno= "id13096369_parametry_ovzdusi";
$pripojeni= new mysqli( $Host_nazev , $Nazev_uzivatel ,
$Heslo , $DB_jmeno );
print ("Připojení k databázi proběhlo úspěšně.");
?>
```

Dalším souborem je `add_data.php`, který po připojení k databázi pomocí předchozího souboru zapisuje data z Python skriptu do tabulky *data* v databázi. Je k tomu využíván příkaz `INSERT INTO`, který slouží k zapsání naměřené hodnoty ze senzorů do tabulky *data* po jednom. Superglobální proměnná `$_GET` slouží k předávání dat v URL adrese. Data odeslána z Python skriptu na URL adresu jsou pomocí této proměnné zapisována do tabulky. Jediný datum je již před zapsáním do tabulky přeformátován, pomocí funkce `DateTime::createFromFormat`, ze stringu

ve tvaru *"dmYHis"* na datový typ *datetime*. Datum a čas je tak zapisován do tabulky již ve správném formátu.

Pro příklad, suffix URL: `add_data.php?datum=01062020121520` bude potom interpretován do tabulky jako datum ve formátu 2020-06-01 12:15:20.

PHP skript k zapisování dat do tabulky v databázi

```
<?php
include("connect.php");

$date_string = $_GET["datum"];
$date = DateTime::createFromFormat("dmYHis", $date_string);
$date_correct = $date->format("Y-m-d H:i:s");

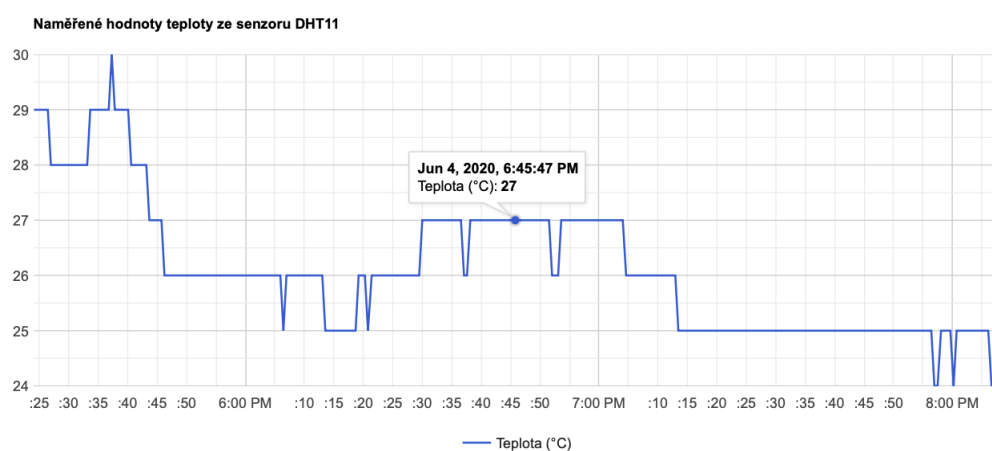
$db="INSERT INTO data (datum,temp,
hum,co2,pm25,pm10,error) VALUES

('$date_correct','.$_GET["temp"].",'.$_GET["hum"].',
'.$_GET["co2"].','.$_GET["pm25"].','.$_GET["pm10"].',
'.$_GET["error"].')";
?>
```

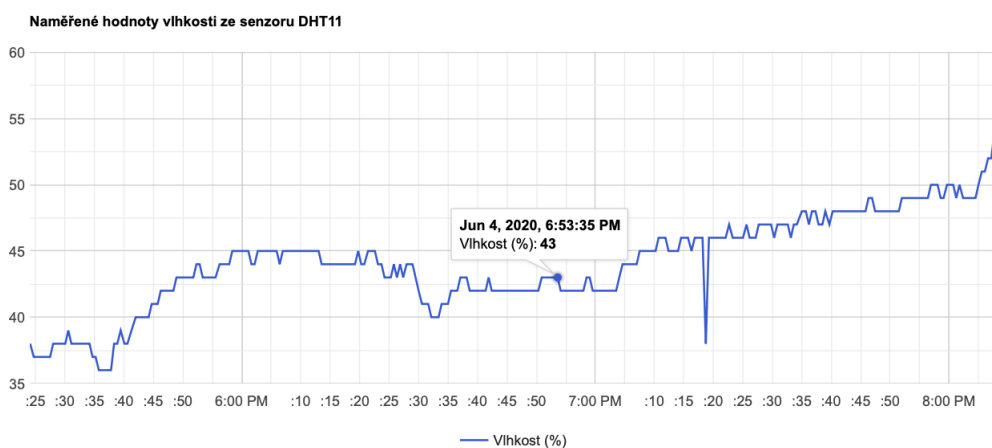
Posledním souborem je `index.php`, který uživateli vypisuje data z tabulky *data* z databáze MySQL. Je tvořen částečně HTML kódem, který definuje hlavičku a tělo stránky. Zbylá část je PHP kód, který získává data z tabulky prostřednictvím dotazu `SELECT` a pomocí funkce `fetch_assoc` jsou načtená data uživateli zobrazována po řádcích. Ukázka vzhledu načtených dat je na obrázku 4.7 v kapitole 4 na straně 38.

4 Ověření funkčnosti zařízení

Jakmile jsou všechny senzory zapojeny a webová aplikace spuštěna, tak je potřeba ověřit funkčnost celého zařízení. Měřicí zařízení bylo po dobu jeho testování umístěno ve venkovním prostředí. Měření probíhalo po dobu cca 3 hodin s intervalem měření co 30 sekund. Naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v následujících grafech. Naměřená teplota (obrázek 4.1) na měřicím zařízení byla porovnána s meteo stanicí se senzorem umístěným poblíž, rozdíl naměřených teplot byl o 1,5 °C. Vyšší teplota u senzoru DHT11 mohla být způsobena přímým vystavením slunečnímu záření na rozdíl od meteo stanice. Narůstající vlhkost odpovídá dešťové srážce na konci měření (obrázek 4.2).

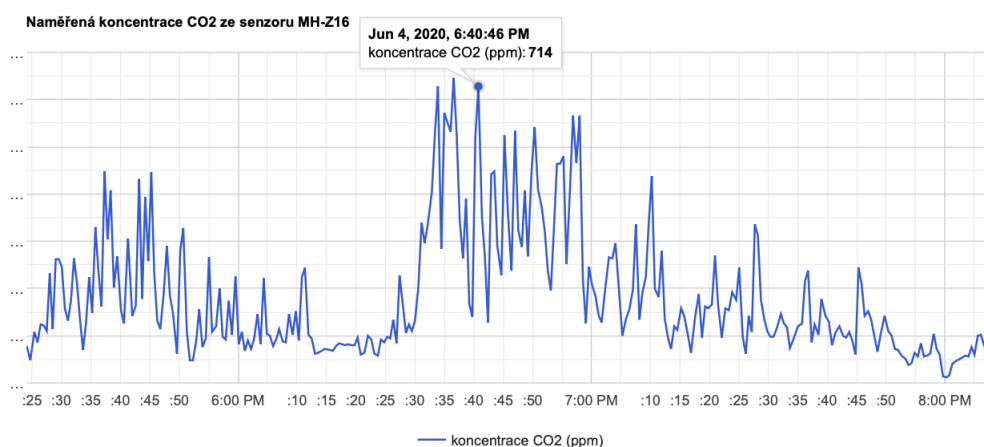


Obr. 4.1: Zobrazení naměřených hodnot teploty ze senzoru DHT11



Obr. 4.2: Zobrazení naměřených hodnot vlhkosti ze senzoru DHT11

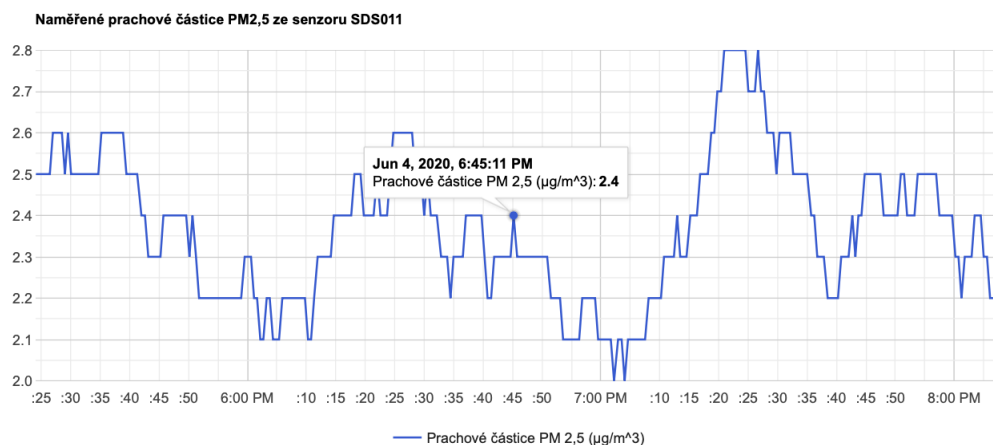
Koncentrace CO_2 se pohybovala v rozmezí 400 – 700 ppm (obrázek 4.3). Taková koncentrace odpovídá venkovnímu prostředí, které je ovlivněno výměnou vzduchu z uzavřených prostor.



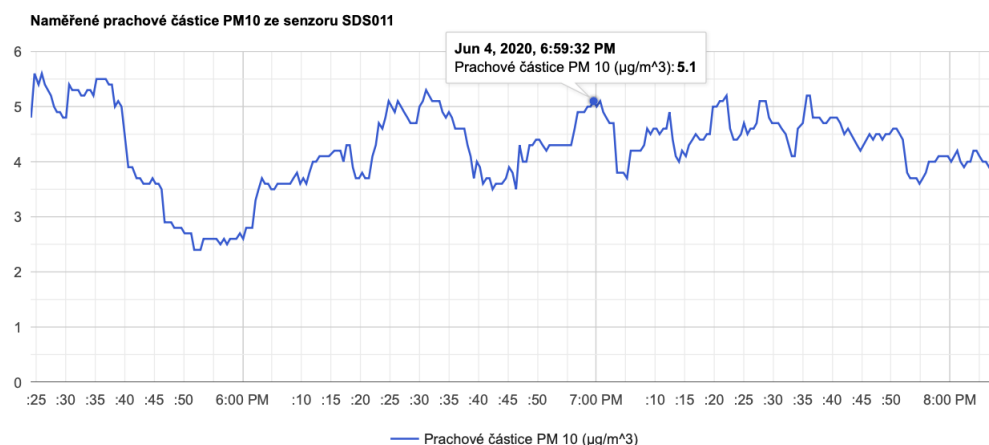
Obr. 4.3: Zobrazení naměřené koncentrace CO_2 ze senzoru MH-Z16

Prachové částice o velikosti $\text{PM}_{2,5}$ se pohybovaly v rozmezí $2,0 - 2,8 \mu\text{g} \cdot \text{m}^3$ (obrázek 4.4) a prachové částice o velikosti PM_{10} v rozmezí $2,4 - 5,6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^3$ (obrázek 4.5).

Všechny naměřené hodnoty odpovídají reálným hodnotám a měřicím rozsahům samotných senzorů.



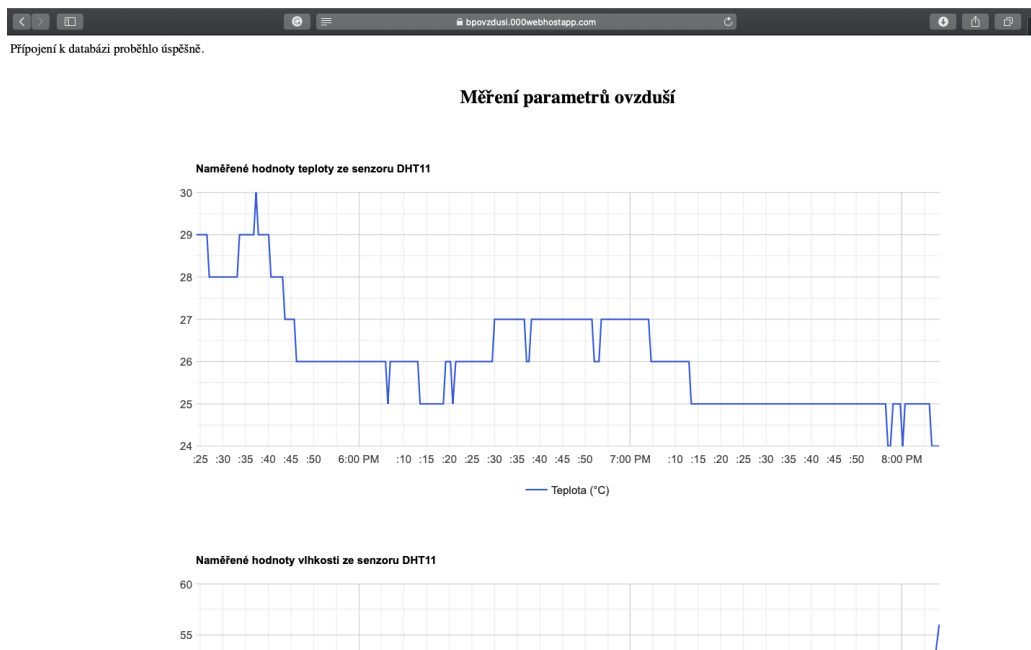
Obr. 4.4: Zobrazení naměřených prachových částic o velikosti $\text{PM}_{2,5}$ ze senzoru SDS011



Obr. 4.5: Zobrazení naměřených prachových částic o velikosti PM_{10} ze senzoru SDS011

Pro grafickou interpretaci naměřených dat jsou využívány funkce Google Charts. Použití Google Charts je bezplatné a má jednoduchou implementaci do PHP kódu. Tyto grafy jsou založené na Javascriptu a poskytují širokou galerii grafů pro zobrazování dynamických dat. Pomocí dostupných zdrojových kódů na vytvoření Google Charts byly vytvořeny spojnicové grafy pro jednotlivé proměnné v závislosti na čase.[14, 32]

V souboru `index.php` bylo vytvořeno PHP pole, které bylo následně převedeno do JSON formátu. Data byla opět získávána z tabulky z databáze MySQL pomocí `connect.php` a následném dotazu `SELECT`. Problém nastal během vytváření časové známky při užití dotazu `UNIX_TIMESTAMP`. Kdy dochází k odčítání data a času z tabulky `data` od počtu sekund, které uplynuly od 1. ledna 1970 00:00. Tento čas je v jiném časovém pásmu a bylo tak potřeba od výsledku odečíst 7200 sekund, aby byl čas ve správném formátu. Pomocí rozhraní Google Line Chart API byla data načtená a vykreslena na jednoduchých dynamických spojnicových grafech (viz obrázek 4.6).



Obr. 4.6: Zobrazení naměřených dat na webu pomocí Google Charts

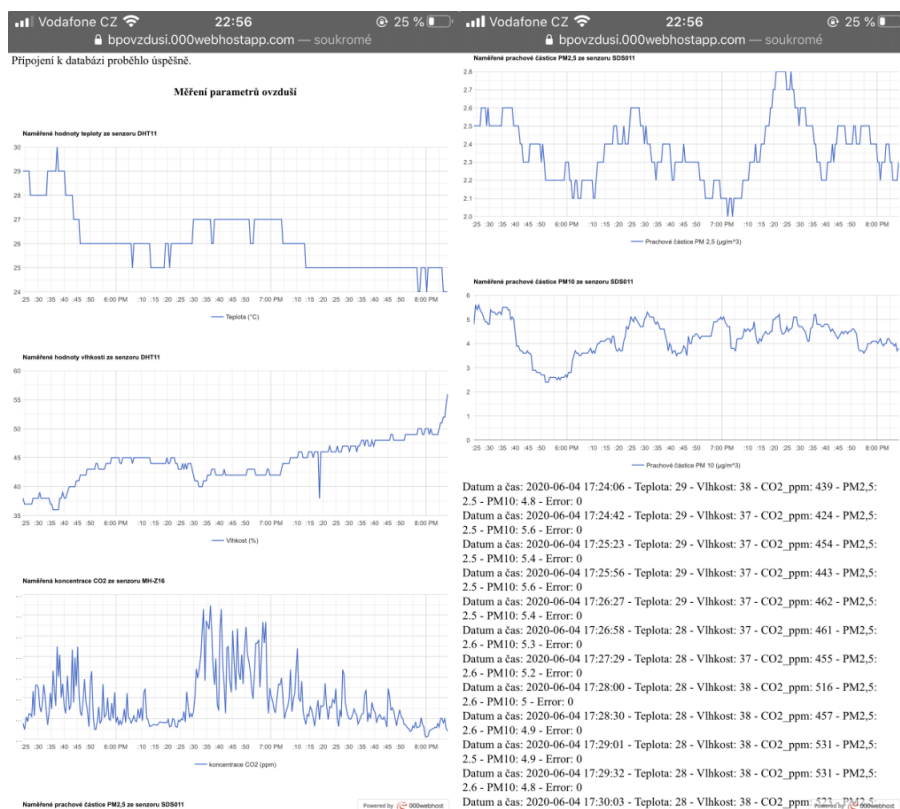
Na webu jsou zobrazovány jak grafy, tak načtené řádky s naměřenými hodnotami. Uživatel si tak může vybrat, co je mu příjemnější a pro něj čitelnější.

Datum a čas:	Teplota:	Vlhkost:	CO2_ppm:	PM2.5:	PM10:	Error:
2020-06-04 19:20:56	25	46	535	2.8	5.1	0
2020-06-04 19:21:27	25	46	483	2.8	5.1	0
2020-06-04 19:22:05	25	46	448	2.8	5.2	0
2020-06-04 19:22:41	25	47	479	2.8	4.6	0
2020-06-04 19:23:17	25	46	477	2.8	4.4	0
2020-06-04 19:23:51	25	46	496	2.8	4.4	0
2020-06-04 19:24:32	25	46	488	2.8	4.5	0
2020-06-04 19:25:02	25	46	522	2.7	4.7	0
2020-06-04 19:25:38	25	47	449	2.7	4.5	0
2020-06-04 19:26:09	25	46	431	2.7	4.6	0
2020-06-04 19:26:40	25	46	471	2.8	4.6	0
2020-06-04 19:27:11	25	46	454	2.7	4.7	0
2020-06-04 19:27:42	25	47	568	2.7	5.1	0
2020-06-04 19:28:13	25	47	556	2.6	5.1	0
2020-06-04 19:28:44	25	47	488	2.6	5.1	0
2020-06-04 19:29:17	25	47	468	2.6	4.8	0
2020-06-04 19:29:48	25	47	455	2.5	4.7	0
2020-06-04 19:30:19	25	46	449	2.6	4.7	0
2020-06-04 19:30:52	25	47	449	2.6	4.7	0
2020-06-04 19:31:26	25	47	458	2.6	4.6	0
2020-06-04 19:32:07	25	47	473	2.6	4.5	0
2020-06-04 19:32:38	25	47	463	2.5	4.3	0
2020-06-04 19:33:09	25	46	459	2.5	4.1	0
2020-06-04 19:33:39	25	47	437	2.5	4.1	0
2020-06-04 19:34:10	25	47	445	2.5	4.6	0
2020-06-04 19:35:01	25	48	460	2.5	4.7	0
2020-06-04 19:35:42	25	48	463	2.4	5.2	0
2020-06-04 19:36:13	25	47	508	2.4	5.2	0
2020-06-04 19:36:44	25	48	519	2.3	4.8	0
2020-06-04 19:37:20	25	48	443	2.3	4.8	0
2020-06-04 19:37:51	25	47	462	2.3	4.8	0
2020-06-04 19:38:30	25	47	451	2.2	4.7	0
2020-06-04 19:39:00	25	48	489	2.2	4.7	0
2020-06-04 19:39:41	25	47	471	2.2	4.8	0
2020-06-04 19:40:15	25	48	465	2.2	4.8	0
2020-06-04 19:40:48	25	48	440	2.3	4.8	0
2020-06-04 19:41:22	25	48	453	2.3	4.7	0

Obr. 4.7: Zobrazení naměřených dat na webu pomocí funkce fetch_assoc

Google Charts podporuje responzivní design, díky tomu se stejně kvalitně zob-

razují grafy na mobilním prohlížeči (na obrázku 4.8). Data tak uživatel může číst z libovolného zařízení.



Obr. 4.8: Zobrazení webové stránky na mobilním zařízení

Závěr

Cílem práce bylo prostudování měřených parametrů ovzduší a jejich hygienické limity. Tato část práce byla realizována v první kapitole a je rozdělena do tří částí. První část se zabývá shrnutím složení atmosféry, druhá část pak stručně popisuje vznik a vliv výskytu nejvýznamnějších znečišťujících látek. Třetí část se zabývá konkrétními měřeními parametry a jejich hygienickými limity v České republice.

Dalším cílem práce byla rešerše v oblasti senzorů k měření parametrů ovzduší. Výsledky této rešerše jsou popsány ve druhé kapitole. Ta popisuje výhody, nevýhody a principy často využívaných a dostupných senzorů k měření parametrů ovzduší. Výběr senzorů se odvíjel hlavně od jejich dostupnosti a cenové relace. Pro měření teploty a vlhkosti byl zvolen senzor DHT11, k měření koncentrace CO_2 senzor MH-Z16 a pro detekci prachových částic byl vybrán senzor NOVA PM SDS011.

Dalším krokem byl samotný návrh zařízení pro detekci teploty, vlhkosti, koncentrace CO_2 a detekce prachových částic PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$. Jako řídicí jednotka zařízení je zvolen počítač Raspberry Pi, který je stručně popsán ve třetí kapitole. K zobrazování dat ze senzorů byl zvolen externí webhosting s možností využití databáze MySQL a skriptovací technologie PHP. Výhodou tohoto řešení je možnost zobrazování dat téměř v reálném čase odkudkoliv. Zobrazování dat bylo vylepšeno o implementaci rozhraní Google Line chart API. Pro uživatele je vykreslení dat prostřednictvím spojnicových grafů přívětivější. Tyto grafy byly využity při zobrazování dat k ověření funkčnosti zařízení. Testování bylo provedeno 3hodinovým měřením ve venkovním prostředí s intervalem 30 sekund. Sensory naměřily odpovídající hodnoty vzhledem k počasí a naměřené hodnoty byly ve správném tvaru přeposílány na webovou stránku.

Do budoucna by se dalo zařízení rozšířit o větší počet senzorů k měření dalších škodlivých látek. Dalším vhodným rozšířením této práce by bylo zakoupení vlastního hostingu, kde by uživatel nebyl omezený a měl by například k dispozici vyšší kapacitu paměti či větší výběr různých funkcí. Pro zvýšení přesnosti měření by bylo vhodné především u senzoru DHT11 volit kvalitnější senzor, který by byl schopný měřit teplotu s přesností na desetinná místa.

Literatura

- [1] *Air quality guidelines: global update 2005 : particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, c2006. ISBN 92-890-2192-6.
- [2] BARSAN, Nicole; WEIMAR, Udo. *Understanding the fundamental principles of metal oxide based gas sensors; the example of CO sensing with SnO₂ sensors in the presence of humidity*. Journal of Physics: Condensed Matter, 2003, 15.20: R813.
- [3] BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL. In: *Circuit Basics* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>
- [4] BEDNÁŘ, Jan. In: *Pozoruhodné jevy v atmosféře: atmosférická optika, akustika a elektřina*. Praha: Academia, 1989. ISBN 80-200-0054-2.
- [5] BOYES, Walt. *Instrumentation reference book*. 4th ed. Boston: Butterworth-Heinemann/Elsevier, c2010. ISBN 978-0-7506-8308-1.
- [6] ČÁPKA, David. Lekce 1 - MySQL krok za krokem: Úvod do MySQL a příprava prostředí. In: *ITnetwork* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/mysql/mysql-tutorial-uvod-a-priprava-prostredi>
- [7] CASSIA, Raúl, et al. Climate change and the impact of greenhouse gasses: CO₂ and NO, friends and foes of plant oxidative stress. *Frontiers in plant science*, 2018, 9: 273.
- [8] *Electrochemical sensors* [online]. Industrial Scientific, , 63 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.indsci.com/globalassets/documents/general-gas-education/electrochemical-sensors.pdf>
- [9] GERBOLES, Michel, Laurent SPINELLE a Annette BOROWIAK. *Measuring air pollution with low-cost sensors* [online]. European Commission, 2017, [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/Brochure%20lower-cost%20sensors.pdf>
- [10] HAVEL, Milan a Petr VÁLEK. *Oxid uhelnatý* [online]. 2014 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhelnaty>
- [11] HAVEL, Milan, Vít VEBR a Petr VÁLEK. *Oxidy dusíku* [online]. 2014 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxidy-dusiku>

- [12] HENELOVÁ, Vladimíra a Jan ANDREOVSKÝ. *Průručka ochrany kvality ovzduší*. Praha: Sdružení společnosti IREAS centrum, 2013. ISBN 978-80-86832-77-7.
- [13] HOOKER, Stephanie A., a spol. Nanotechnology advantages applied to gas sensor development. In: The nanoparticles 2002 conference proceedings. Business Communications Co., Inc., 2002. str. 1-7.
- [14] How to Make Google Line Chart by using PHP JSON Data. *Webslesson* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.webslesson.info/2017/08/how-to-make-google-line-chart-by-using-php-json-data.html>
- [15] HTML Definition. In: *Tech Terms* [online]. 2015 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://techterms.com/definition/html>
- [16] Introduction to UART. In: *Weeki Tech* [online]. 2019 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.weekitech.com/2019/05/13/introduction-to-uart/>
- [17] LIU, Xiao, Sitian CHENG, Hong LIU, Sha HU, Daqiang ZHANG a Huansheng NING. A Survey on Gas Sensing Technology. *Sensors* [online]. 2012, **12**(7), 9635-9665 [cit. 2020-01-01]. DOI: 10.3390/s120709635. ISSN 1424-8220.
- [18] MCFARLIN, Tom. What Is JavaScript? *Envato-tuts+* [online]. 2016 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://code.tutsplus.com/cs/tutorials/what-is-javascript--cms-26177>
- [19] Nebezpečí polétavého prachu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2010 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/5BC8D18C9B814A6EC125772E00539B7A/\\$file/OVV-poletavy_prach-20100525.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/5BC8D18C9B814A6EC125772E00539B7A/$file/OVV-poletavy_prach-20100525.pdf)
- [20] NORRIS, Donald. *Raspberry Pi: projekty*. Brno: Computer Press, 2015. ISBN 978-80-251-4346-9.
- [21] *Outdoor air pollution*. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, [2016]. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, v. 109. ISBN 978-92-832-0147-2.
- [22] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. *Oxidy síry* [online]. 2014 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxidy-siry>
- [23] Proč PHP. In: *Garth* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.garth.cz/uvod-do-php/proc-php/>

- [24] Raspberry Pi 2 Model B. In: *Raspberry Pi* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>
- [25] Raspberry Pi B+ GPIO Header Details And Pinout. In: *Raspberry Pi Spy* [online]. 2014 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2014/07/raspberry-pi-b-gpio-header-details-and-pinout/>
- [26] ROUSE, Margaret. *Internet of things (IoT)* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [27] SPI Bus. In: *DLNWARE* [online]. 2016 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <http://dlnware.com/theory/SPI-Bus>
- [28] STAUFFER, Eric, Julia A. DOLAN a Reta NEWMAN. *Fire debris analysis*. Boston, Mass.: Academic Press, c2008. ISBN 978-0-12-663971-1.
- [29] ŠUBRT, Roman. Mikroklima ve veřejných budovách jako důvod instalace rekuperace [online]. 2011 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ecs\\$_\\$co2\\$_\\$publikace.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/ecs$_$co2$_$publikace.pdf)
- [30] *Technologický průlom v optických PM senzorech* [online]. SOS elektronik, 2018 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <http://www.soselectronic.cz/articles/sensirion/technologicky-prulom-v-optickych-pm-senzorech-2217>
- [31] UPTON, Eben a Gareth HALFACREE. *Raspberry Pi: uživatelská příručka*. 2., aktualizované vydání. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4819-8.
- [32] Using Google Charts. *Google Developers* [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://developers.google.com/chart/interactive/docs>
- [33] Úvod do JSON. *JSON* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.json.org/json-cz.html>
- [34] *VODIVOSTNÍ SENZOR PLYNŮ* [online]. In: Praha: Fakulta chemicko-inženýrská VŠCHT [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: https://fchi.vscht.cz/files/uzel/0010359/09_vodivostni_senzory.pdf?redirected
- [35] Vyhláška č. 6/2003 Sb., Ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2002, částka 4, s. 121–125.

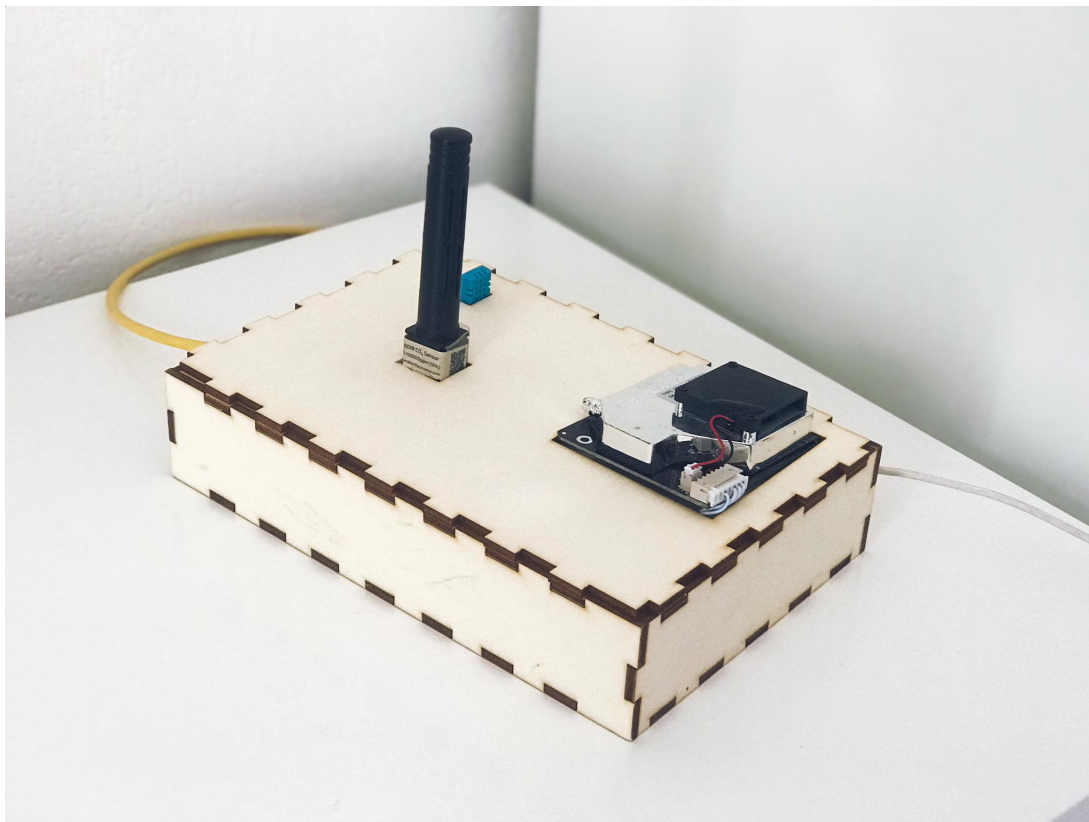
- [36] What is PHP? Write your first PHP Program. In: *Guru 99* [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.guru99.com/what-is-php-first-php-program.html>
- [37] Zákon č. 201/2012 Sb., Zákon o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Parlament České republiky, 2012, částka 69, s. 2786–2848.

Seznam příloh

A Fotodokumentace hotového prototypu	49
B Zdrojové kódy	50

A Fotodokumentace hotového prototypu

Pro snadnější manipulaci a praktičtější využití byla vytvořena z překližky jednoduchá krabička (obrázek A.1) pomocí laserového gravírovacího stroje.



Obr. A.1: Sestavený prototyp

B Zdrojové kódy

Součástí práce je komprimovaný archiv metodou Zip obsahující čtyři zdrojové kódy. Tři kódy s příponou PHP se podílejí na tvorbě webové aplikace. Posledním kódem je Python skript, který byl implementován ve vývojovém prostředí Thonny.